



МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

МСЭ-Т

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

G.691

(03/2006)

СЕРИЯ G: СИСТЕМЫ И СРЕДА ПЕРЕДАЧИ,
ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

Характеристики среды передачи – Характеристики
оптических компонентов и подсистем

**Оптические интерфейсы для одноканальных
STM-64 и других систем СЦИ с оптическими
усилителями**

Рекомендация МСЭ-Т G.691

РЕКОМЕНДАЦИИ МСЭ-Т СЕРИИ G
СИСТЕМЫ И СРЕДА ПЕРЕДАЧИ, ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ТЕЛЕФОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И ЦЕПИ	G.100–G.199
ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОБЩИЕ ДЛЯ ВСЕХ АНАЛОГОВЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ	G.200–G.299
ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЖДУНАРОДНЫХ ВЧ-СИСТЕМ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ ПО МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ЛИНИЯМ	G.300–G.399
ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЖДУНАРОДНЫХ СИСТЕМ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ ИЛИ СПУТНИКОВЫХ ЛИНИЙ И ИХ СОЕДИНЕНИЕ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ПРОВОДНЫМИ ЛИНИЯМИ	G.400–G.449
КООРДИНАЦИЯ РАДИОТЕЛЕФОНИИ И ПРОВОДНОЙ ТЕЛЕФОНИИ	G.450–G.499
ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ	G.600–G.699
Общие положения	G.600–G.609
Симметричные кабельные пары	G.610–G.619
Наземные коаксиальные кабельные пары	G.620–G.629
Подводные кабели	G.630–G.649
Волоконно-оптические кабели	G.650–G.659
Характеристики оптических компонентов и подсистем	G.660–G.699
ЦИФРОВОЕ ОКОНЕЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	G.700–G.799
ЦИФРОВЫЕ СЕТИ	G.800–G.899
ЦИФРОВЫЕ УЧАСТКИ И СИСТЕМА ЦИФРОВЫХ ЛИНИЙ	G.900–G.999
КАЧЕСТВО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ – ОБЩИЕ И СВЯЗАННЫЕ С ПОЛЬЗОВАТЕЛЕМ АСПЕКТЫ	G.1000–G.1999
ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ	G.6000–G.6999
ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ ПО ТРАНСПОРТНЫМ СЕТЯМ – ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	G.7000–G.7999
ETHERNET И АСПЕКТЫ ТРАНСПОРТИРОВКИ СООБЩЕНИЙ	G.8000–G.8999
СЕТИ ДОСТУПА	G.9000–G.9999

Для получения более подробной информации просьба обращаться к перечню Рекомендаций МСЭ-Т.

Рекомендация МСЭ-Т G.691

Оптические интерфейсы для одноканальных STM-64 и других систем СИ с оптическими усилителями

Резюме

В настоящей Рекомендации приводятся параметры и значения для оптических интерфейсов одноканальных систем STM-4, STM-16 и STM-64 большой протяженности, использующих оптические предусилители и/или оптические входные усилители. Кроме того, в ней приводятся параметры оптического интерфейса для одноканальных внутристанционных систем и систем малой протяженности STM-64 без оптических усилителей.

Источник

Рекомендация МСЭ-Т G.691 утверждена 29 марта 2006 года 15-й Исследовательской комиссией МСЭ-Т (2005–2008 гг.) в соответствии с процедурой, изложенной в Рекомендации МСЭ-Т А.8.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Международный союз электросвязи (МСЭ) является специализированным учреждением Организации Объединенных Наций в области электросвязи. Сектор стандартизации электросвязи МСЭ (МСЭ-Т) – постоянный орган МСЭ. МСЭ-Т отвечает за изучение технических, эксплуатационных и тарифных вопросов и за выпуск Рекомендаций по ним с целью стандартизации электросвязи на всемирной основе.

На Всемирной ассамблее по стандартизации электросвязи (ВАСЭ), которая проводится каждые четыре года, определяются темы для изучения Исследовательскими комиссиями МСЭ-Т, которые, в свою очередь, вырабатывают Рекомендации по этим темам.

Утверждение Рекомендаций МСЭ-Т осуществляется в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции 1 ВАСЭ.

В некоторых областях информационных технологий, которые входят в компетенцию МСЭ-Т, необходимые стандарты разрабатываются на основе сотрудничества с ИСО и МЭК.

ПРИМЕЧАНИЕ

В настоящей Рекомендации термин "администрация" используется для краткости и обозначает как администрацию электросвязи, так и признанную эксплуатационную организацию.

Соблюдение положений данной Рекомендации носит добровольный характер. Однако в Рекомендации могут содержаться определенные обязательные положения (например, для обеспечения возможности взаимодействия или применимости), и соблюдение положений данной Рекомендации достигается в случае выполнения всех этих обязательных положений. Для выражения необходимости выполнения требований используется синтаксис долженствования и соответствующие слова (такие, как "должен" и т. п.), а также их отрицательные эквиваленты. Использование этих слов не предполагает, что соблюдение положений данной Рекомендации является обязательным для какой-либо из сторон.

ПРАВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

МСЭ обращает внимание на вероятность того, что практическое применение или реализация этой Рекомендации может включать использование заявленного права интеллектуальной собственности. МСЭ не занимает какую бы то ни было позицию относительно подтверждения, обоснованности или применимости заявленных прав интеллектуальной собственности, независимо от того, отстаиваются ли они членами МСЭ или другими сторонами вне процесса подготовки Рекомендации.

На момент утверждения настоящей Рекомендации МСЭ получил извещение об интеллектуальной собственности, защищенной патентами, которые могут потребоваться для выполнения этой Рекомендации. Однако те, кто будет применять Рекомендацию, должны иметь в виду, что это может не отражать самую последнюю информацию, и поэтому им настоятельно рекомендуется обращаться к патентной базе данных БСЭ.

© ITU 2007

Все права сохранены. Никакая часть данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких-либо средств без письменного разрешения МСЭ.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1 Сфера применения	1
2 Справочные документы	1
3 Термины и определения	2
3.1 Определения	2
3.2 Термины, определенные в других Рекомендациях	2
4 Сокращения	3
5 Классификация оптических интерфейсов.....	4
5.1 Приложения	4
5.2 Исходная конфигурация и внешний вид.....	6
6 Определения параметров.....	7
6.1 Диапазон значений рабочих длин волн системы	7
6.2 Передатчик.....	7
6.3 Оптический путь.....	10
6.4 Приемник	13
7 Значения оптических параметров.....	14
8 Оптико-инженерный подход.....	20
8.1 Предположения по проектированию.....	20
8.2 Нелинейности	21
8.3 Адаптация к дисперсии.....	21
8.4 Автономные усилители.....	24
8.5 Возможности модернизации	24
8.6 Принципы оптической безопасности	25
Приложение А – Ухудшение коэффициента контрастности и маски глаз-диаграммы.....	25
А.1 Измерение параметров.....	25
А.2 Ухудшение коэффициента контрастности.....	26
А.3 Ухудшение маски глаз-диаграммы.....	26
А.4 Чувствительность приемника.....	27
Дополнение I – Дисперсия моды поляризации.....	27
I.1 Статистическое распределение дисперсии моды поляризации (PMD).....	27
I.2 Потери на пути передачи из-за PMD.....	29
Дополнение II – Описание ФАМ как метода адаптации к дисперсии	30
II.1 Основы ФАМ.....	30
II.2 Применение фазовой автомодуляции в качестве метода адаптации к дисперсии .	30
II.3 Порог ФАМ.....	31
II.4 Значения оптических параметров для приложений.....	31
II.5 Тип источника.....	31
II.6 Маска глаз-диаграммы.....	31

	Стр.
II.7 Приемник	31
Дополнение III – Адаптация к дисперсии при помощи DST	32
III.1 Введение	32
III.2 Принципы метода DST	32
III.3 Маска глаз-диаграммы оптического приемника после дисперсионного кабеля....	33
III.4 Определения параметров	34
III.5 Значения оптических параметров	37
Дополнение IV – Измерение параметра линейной частотной модуляции α оптического передаваемого сигнала	38
IV.1 Измерительная установка	38
IV.2 Технические требования к измерительной аппаратуре	39
IV.3 Калибровка	39
IV.4 Процедура измерений	40
IV.5 Обработка данных	40
IV.6 Примеры и интерпретация полученных данных	41
Дополнение V – Возможности модернизации	42

Оптические интерфейсы для одноканальных STM-64 и других систем СЦИ с оптическими усилителями

1 Сфера применения

Целью настоящей Рекомендации является создание спецификаций оптического интерфейса, для обеспечения трансверсальной (от различных производителей) совместимости одноканальных систем STM-4, STM-16 и внутрисканционных систем STM-64, с использованием оптических предусилителей и/или оптических линейных усилителей. Кроме того, в настоящей Рекомендации приведены также спецификации, предназначенные для обеспечения трансверсальной совместимости одноканальных внутрисканционных систем и систем малой протяженности STM-64, не требующих оптического усиления.

Использование канальных усилителей не входит в предмет рассмотрения данной Рекомендации.

Настоящая Рекомендация основана на принципе использования одного волокна для каждого направления.

2 Справочные документы

В нижеследующих Рекомендациях и других справочных документах содержатся положения, которые, с помощью ссылки в настоящем тексте, составляют положения настоящей Рекомендации. На время публикации указанные здесь издания были действительными. Все Рекомендации и другие справочные документы постоянно пересматриваются; поэтому всем пользователям данной Рекомендации настоятельно рекомендуется изучить возможность использования последних изданий перечисленных ниже Рекомендаций и других справочных документов. Перечень действующих на настоящий момент Рекомендаций МСЭ-Т регулярно публикуется. Ссылка в настоящей Рекомендации на какой-либо документ не придает этому отдельному документу статуса рекомендации.

- [1] ITU-T Recommendation G.652 (2005), *Characteristics of a single-mode optical fibre and cable.*
- [2] ITU-T Recommendation G.653 (2003), *Characteristics of a dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable.*
- [3] ITU-T Recommendation G.655 (2006), *Characteristics of a non-zero dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable.*
- [4] ITU-T Recommendation G.662 (2005), *Generic characteristics of optical amplifier devices and subsystems.*
- [5] ITU-T Recommendation G.663 (2000), *Application related aspects of optical amplifier devices and subsystems.*
- [6] ITU-T Recommendation G.664 (2006), *Optical safety procedures and requirements for optical transport systems.*
- [7] ITU-T Recommendation G.671 (2005), *Transmission characteristics of optical components and subsystems.*
- [8] ITU-T Recommendation G.693 (2005), *Optical interfaces for intra-office systems.*
- [9] ITU-T Recommendation G.707/Y.1322 (2003), *Network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH).*

- [10] ITU-T Recommendation G.955 (1996), *Digital line systems based on the 1544 kbit/s and the 2048 kbit/s hierarchy on optical fibre cables.*
- [11] ITU-T Recommendation G.957 (2006), *Optical interfaces for equipments and systems relating to the synchronous digital hierarchy.*
- [12] ITU-T Recommendation G.959.1 (2006), *Optical transport network physical layer interfaces.*

3 Термины и определения

3.1 Определения

В настоящей Рекомендации определяются следующие термины:

3.1.1 основной (оптический) путь: Волоконная линия между точкой S передающего оборудования и точкой R приемного оборудования. Основной путь не включает в себя никаких дополнительных путей.

3.1.2 интерфейсы основного пути: Интерфейсы с волоконной линией, определенной в настоящей Рекомендации.

3.1.3 дополнительный (оптический) путь: Оптическое соединение между передатчиком или приемником, не оборудованным усилителями, и (автономным) оптическим предусилителем или входным усилителем. Дополнительный путь не входит в состав основного пути.

3.1.4 (оптический) транспондер: Комбинированное устройство "передатчик-приемник", в состав которого может входить блок формирования импульсов и восстановления тактовых интервалов, который трансформирует один оптический сигнал в другой оптический сигнал, выполняя его преобразование в электрической области.

3.2 Термины, определенные в других Рекомендациях

В настоящей Рекомендации используются следующие термины, определенные в других Рекомендациях МСЭ-Т:

Входной усилитель:	(Рек. МСЭ-Т G.662)
Волоконный усилитель, легированный эрбием:	(Рек. МСЭ-Т G.661)
Проектирование стыков:	(Рек. МСЭ-Т G.957)
Продольная совместимость:	(Рек. МСЭ-Т G.955)
Устройство оптического усиления:	(Рек. МСЭ-Т G.662)
Подсистема оптического усиления:	(Рек. МСЭ-Т G.662)
Оптический усилитель:	(Рек. МСЭ-Т G.662)
Волоконно-оптический усилитель:	(Рек. МСЭ-Т G.662)
Оптические потери на отражение:	(Рек. МСЭ-Т G.957)
Приемник с оптическим усилением:	(Рек. МСЭ-Т G.662)
Передатчик с оптическим усилением:	(Рек. МСЭ-Т G.662)
Предусилитель:	(Рек. МСЭ-Т G.662)
Контрольные точки S/R:	(Рек. МСЭ-Т G.955)
Трансверсальная совместимость:	(Рек. МСЭ-Т G.957)

4 Сокращения

В настоящей Рекомендации используются следующие сокращения:

ЛПФД	Лавинопролетный фотодиод
ASE	Усиленное спонтанное излучение
АМн	Амплитудная манипуляция
КЛБ	Коэффициент ошибок по битам
DA	Адаптация к дисперсии
ДГВЗ	Дифференциальное групповое время задержки
DST	Передача с поддержкой дисперсии
EX	Коэффициент потерь
FEC	Упреждающая коррекция ошибок
ffs	Требуется дальнейшего изучения
ЧМ	Частотная модуляция
ЧМн	Частотная манипуляция
FSR	Область дисперсии
FWHM	Полная ширина на половине высоты
I	Внутристанционный
IM	Модуляция интенсивности светового потока
L	Большой протяженности
MLM	(Лазер) с несколькими продольными модами
MPI	Интерфейс основного пути
MPN	Шумы из-за перераспределения мод
NA	Неприменимо
NRZ	Без возвращения к нулю
ORL	Оптические потери на отражение
PCH	Предварительная линейная частотная модуляция
PDC	Пассивный компенсатор дисперсии
PIN	Положительный-собственный-отрицательный
PMD	Дисперсия моды поляризации
PRBS	Псевдослучайная бинарная последовательность
PSP	Основное состояние поляризации
RMS	Среднеквадратический
S	Малой протяженности
СЦИ	Синхронная цифровая иерархия
SLM	(Лазер) с одной продольной модой
SMSR	Коэффициент подавления боковой моды
С/Ш	Отношение сигнал-шум

SOP	Состояние поляризации
ФАМ	Фазовая автомодуляция
STM-N	Модуль синхронной передачи порядка N
U	Сверхбольшой протяженности
V	Очень большой протяженности
WDM	Спектральное разделение по длинам волн

5 Классификация оптических интерфейсов

5.1 Приложения

В настоящей Рекомендации определяются оптические интерфейсы для одноканальных внутристанционных линейных систем, предназначенных для наземных приложений большой протяженности со скоростями от STM-4 до STM-64. Она является продолжением Рекомендации МСЭ-Т G.957 и добавляет описание оптических усилителей и скорости передачи STM-64. Системы с канальными усилителями не входят в предмет рассмотрения настоящей рекомендации.

Определения кодов приложений получены из Рек. МСЭ-Т G.957 следующим образом:

Приложение – уровень STM.номер суффикса,

где "приложение" соответствует заданному расстоянию: I- (внутристанционный), S- (малой протяженности), L- (большой протяженности), V- (очень большой протяженности) и U- (сверхбольшой протяженности).

Номер суффикса означает:

- 1 использование номинальных 1310 нанометровых (нм) источников в (стандартном) волокне G.652;
- 2 использование номинальных 1550 нм источников в волокне G.652;
- 3 использование номинальных 1550 нм источников в волокне G.653 (со сдвигом дисперсии);
- 5 использование номинальных 1550 нм источников в волокне G.655 (с ненулевым сдвигом дисперсии).

Для некоторых кодов I-64 после номера суффикса добавляется символ "r", который обозначает, что заданное расстояние уменьшено. Эти коды приложений, которые относятся к семейству внутристанционных, ограничиваются дисперсией. То же самое заданное расстояние может быть достигнуто при помощи других технологических решений, которые требуют дальнейшего изучения (например, решение на основе параллельного интерфейса).

Заданные расстояния состояются из интервалов длиной примерно по 40 км для 1550 нм и по 20 км для 1310 нм, за исключением очень коротких расстояний и внутристанционных приложений. Заданные расстояния должны использоваться только для классификации, а не для спецификации. Они оцениваются на основе предположения о потерях в установленном волокне = 0,275 дБ/км, включая стыки и концы кабеля для систем 1550 нм, и 0,55 дБ/км для систем 1310 нм. С практической точки зрения, определены пределы ослабления от 11 дБ/20 км для 1310 нм и 11 дБ/40 км для 1550 нм, за исключением очень коротких расстояний и внутристанционных приложений. На практике эти значения могут применяться не ко всем волоконно-оптическим кабелям, в таком случае реальное достигаемое расстояние может быть короче.

Основными спецификациями являются диапазон ослаблений и максимальный допуск на дисперсию данной системы. Заданное расстояние используется, в основном, для определения допуска на дисперсию, которое рассчитывается как максимальное время рассеивания оптоволокна, умноженное на заданное расстояние. Это повышает допуск систем, а также позволяет полностью использовать волоконные кабели с малым ослаблением. В таблицах 1a, 1b и 1c приведены коды приложений, описанные в настоящей Рекомендации.

Таблица 1а/G.691 – Классификация оптических интерфейсов на основе приложения с кодами приложения I

Приложения						
Номинальная длина волны источника [нм]	1 310	1 310	1 550	1 550	1 550	1 550
Тип волокна	G.652	G.652	G.652	G.652	G.653	G.655
Заданное расстояние [км]	0,6	2	2	25	25	25
STM-64	I-64.1r	I-64.1	I-64.2r	I-64.2	I-64.3	I-64.5
Параметры приведены в Рек.	G.693	G.693	G.693	G.959.1	G.959.1	G.959.1
Код	VSR600-2R1	VSR2000-2R1	VSR2000-2L2	P1I1-2D2	P1I1-2D3	P1I1-2D5
ПРИМЕЧАНИЕ. 1. – Заданные расстояния являются приблизительными и должны использоваться только для классификации, а не для спецификации.						
ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Коды I, S и L для STM-1, -4 и -16 определены в Рек. МСЭ-Т G.957.						

Таблица 1б/G.691 – Классификация оптических интерфейсов на основе приложения с кодами приложения S и L

Приложения							
Номинальная длина волны источника [нм]	1 310	1 550	1 550	1 550	1 310	1 550	1 550
Тип волокна	G.652	G.652	G.653	G.655	G.652	G.652	G.653
Заданное расстояние [км]	20	40	40	40	40	80	80
STM-64	S-64.1	S-64.2	S-64.3	S-64.5	L-64.1	L-64.2	L-64.3
Параметры приведены в	G.959.1	G.959.1	G.959.1	G.959.1	G.959.1	Таблица 5с	Таблица 5с
Код	P1S1-2D1	P1S1-2D2	P1S1-2D3	P1S1-2D5	P1L1-2D1		
ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Заданные расстояния являются приблизительными и должны использоваться только для классификации, а не для спецификации.							
ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Коды I, S и L для STM-1, -4 и -16 определены в Рек. МСЭ-Т G.957.							

Таблица 1с/G.691 – Классификация оптических интерфейсов на основе приложения с кодами приложения V и U

Приложения					
Номинальная длина волны источника [нм]	1 310	1 550	1 550	1 550	1 550
Тип волокна	G.652	G.652	G.653	G.652	G.653
Заданное расстояние [км]	60	120	120	160	160
STM-1	–	–	–	–	–
STM-4	V-4.1	V-4.2	V-4.3	U-4.2	U-4.3
Параметры приведены в	Таблица 3	Таблица 3	Таблица 3	Таблица 3	Таблица 3
Заданное расстояние [км]	60	120	120	160	160
STM-16	–	V-16.2	V-16.3	U-16.2	U-16.3
Параметры приведены в		Таблица 4	Таблица 4	G.959.1	G.959.1
Код				P1U1-1A2	P1U1-1A3
Заданное расстояние [км]	60	120	120		
STM-64	–	V-64.2	V-64.3	–	–
Параметры приведены в		Таблица 5d	Таблица 5d		
ПРИМЕЧАНИЕ. – Заданные расстояния являются приблизительными и должны использоваться только для целей классификации, а не для спецификации.					

5.2 Исходная конфигурация и внешний вид

Задачей данной Рекомендации является определить интерфейсы основного пути (MPI). Интерфейсы MPI – это интерфейсы с кабелем большой протяженности. Особенности основного пути налагают требования на оконечное оборудование. Оконечное оборудование может быть, в принципе, организовано различными способами, для того чтобы соответствовать требуемым спецификациям интерфейсов MPI. Это касается таких аспектов как уровень интеграции, метод адаптации к дисперсии или применение автономных оптических усилителей.

Из-за многообразия активного и пассивного оборудования на оптическом пути (усилители, мультиплексоры и т. д.) в Рекомендациях для одноканальных и многоканальных систем с оптическими усилителями, контрольные точки S и R должны интерпретироваться в общем смысле, и должны быть детализированы для каждой системы. Для того чтобы отличать точки MPI-S и MPI-R от других контрольных точек (например, S в Рек. МСЭ-Т G.957) передающая и приемная стороны основного пути обозначаются как MPI-S и MPI-R соответственно, когда эти термины используются в общем смысле.

Трассы оптической связи (соединительные кабели) между любыми оптическими устройствами внутри оконечного оборудования, если таковые имеются, называются "дополнительными путями". Следовательно, в целях настоящей Рекомендации, интерфейсы волоконно-оптической системы могут быть представлены так, как это показано на рисунке 1.

На рисунке 1 передающая сторона показана в виде передатчика, соединенного по дополнительному пути с автономным оптическим усилителем, тогда как приемная сторона соединяется непосредственно с основным путем.

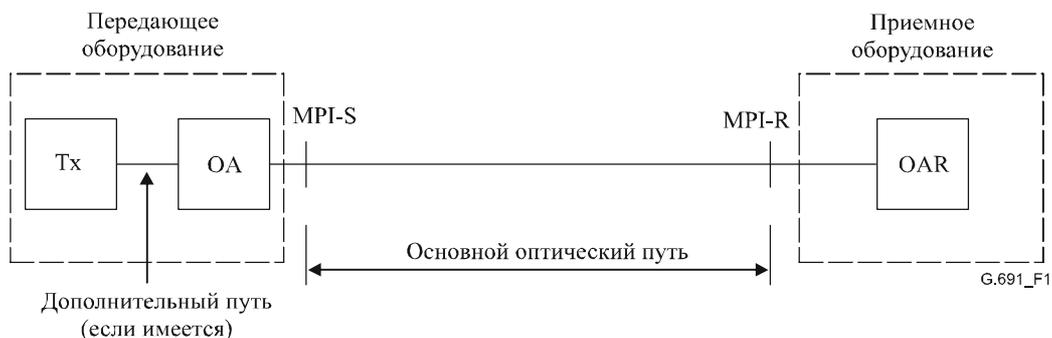


Рисунок 1/G.691 – Пример оптической линии, на котором показаны точки интерфейсов, определенных в настоящей Рекомендации

6 Определения параметров

Значения всех параметров – это значения для наихудшего случая, которые, как предполагается, должны выполняться во всем диапазоне стандартных условий эксплуатации (т. е. в диапазонах изменения температуры и влажности), которые учитывают износ оборудования. Параметры определяются в соответствии с заданным коэффициентом ошибок по битам (КОБ) оптического участка, не хуже 10^{-12} для любой комбинации параметров в пределах диапазонов, указанных в таблицах для каждой системы, для которой составляется спецификация.

Кодирование оптической линии, используемое для интерфейсов до STM-64 включительно, – это скремблирование без возврата к нулю (NRZ), в соответствии с Рек. МСЭ-Т G.707/Y.1322.

6.1 Диапазон значений рабочих длин волн системы

Диапазон рабочих длин волн – это максимально допустимый диапазон длин волн источника. В пределах этого диапазона может выбираться длина волны источника для различных вариантов реализации усилителей и различных искажений, определенных кабелем. Минимальный рабочий диапазон длин волн приемника должен соответствовать максимальному допустимому диапазону длин волн источника.

Рабочий диапазон длин волн волоконно-оптической системы передачи, главным образом, определяется характеристиками ослабления и дисперсии различных типов волокон и источников. Более подробно эти аспекты рассмотрены в Рек. МСЭ-Т G.957. В системах большой протяженности с оптическими усилителями, рассматриваемых в настоящей Рекомендации, рабочий диапазон длин волн еще более ограничивается самими оптическими усилителями.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Когда фильтр с фиксированной или настраиваемой длиной волны для исключения усиленных спонтанных излучений (ASE) установлен до приемника, полоса рабочих длин волн может быть ограничена и трансверсальная совместимость может не гарантироваться.

6.2 Передатчик

6.2.1 Спектральные характеристики

Не предполагается, что одни только спектральные измерения могут гарантировать трансверсальную совместимость, и эти параметры следует рассматривать как необходимые, но не достаточные для этой цели. В настоящее время приводится несколько значений спектральных параметров. Пока эти значения не известны, гарантировать трансверсальную совместимость для этих систем невозможно.

6.2.1.1 Максимальная ширина спектра для источников SLM

Для источников с одной продольной модой (SLM) ширина спектра определяется как полная ширина наибольшего спектрального пика, измеренная на 20 дБ ниже максимальной амплитуды пика.

Максимальная, усредненная во времени, ширина спектра используется, главным образом, для защиты от излишней линейной частотной модуляции в лазерах с непосредственной модуляцией. Такие источники предназначены, главным образом, для приложений с малой дисперсией (например, STM-4 и систем на волокне G.653), но могут использоваться также в некоторых системах большой протяженности.

Системы с высокой дисперсией (главным образом, STM-16 или -64 на волокне G.652) будут обычно использовать модуляторные источники. В частности, системы STM-64 на волокне G.652 работают вблизи типичного дисперсионного предела или на этом пределе. Следовательно, спектры мощности их источников должны, по определению, быть практически идеальными. Определение максимальной ширины спектра, хотя и продолжает быть применимым, становится все менее полезным, а вместо него наиболее важным параметром для модуляторных источников становится параметр линейной частотной модуляции.

6.2.1.2 Максимальная ширина спектра для источников MLM

Максимальная среднеквадратичная (RMS) ширина спектра или стандартная девиация σ (нм) спектрального распределения лазера с несколькими продольными модами (MLM) относится ко всем модам лазера, которые не более чем на 20 дБ ниже пиковой моды. Эта спецификация требуется только для систем с лазером MLM на 1310 нм.

6.2.1.3 Параметр линейной частотной модуляции

Параметр линейной частотной модуляции частоты источника (также известный как параметр α) определяется следующим образом:

$$\alpha = \frac{\frac{d\phi}{dt}}{\frac{1}{2P} \cdot \frac{dP}{dt}},$$

где ϕ – оптическая фаза сигнала, а P – его мощность. Следует отметить, что определенный таким образом параметр линейной частотной модуляции на протяжении импульса не постоянен. Следовательно, импульс может иметь нулевое значение усредненного параметра линейной частотной модуляции, и все же не будет свободен от частотной модуляции.

Положительный параметр линейной частотной модуляции соответствует положительному сдвигу частоты (сдвиг в область синего участка спектра) во время нарастания импульса и отрицательному сдвигу частоты (сдвиг в область красного участка спектра) время спада импульса. Как правило, параметр линейной частотной модуляции модулятора лежит в пределах от 1 до +1 рад, тогда как переход при включении стандартного лазера может иметь параметр линейной частотной модуляции 10–100 рад.

Поскольку несколько систем, описанных в настоящей Рекомендации, работают вблизи дисперсионного предела или на нем, спектры их источников должны быть близки к идеальным. Спецификация частоты линейной частотной модуляции требуется для регулирования и описания изменения фазы сигнала, которая еле видна в спектре мощности, определяемом другими параметрами.

Изменение фазы сигнала может использоваться для получения "пикового качества" системы, например, за счет компрессии импульса в ходе линейной частотной модуляции. Оно также может использоваться для изменения поведения нелинейности из-за изменения мощности. Это взаимовлияние очень сложно, и, следовательно, допустимые пределы этого параметра могут изменяться с изменением кода приложения и других параметров системы.

Метод измерения линейной частотной модуляции источника рассмотрен в Дополнении IV.

6.2.1.4 Коэффициент подавления боковой моды

Коэффициент подавления боковой моды (SMSR) определяется как отношение наибольшего пика в общем спектре источника ко второму по величине пику. Спектральное разрешение измерений должно быть лучше (т. е. полоса пропускания оптического фильтра должна быть меньше), чем определенная ранее максимальная ширина спектра пика. Второй по величине пик может быть рядом с основным пиком или может располагаться вдали от него.

ПРИМЕЧАНИЕ. – В рамках этого определения спектральные пики, которые отделены от основного пика тактовой частотой, не считаются боковыми модами.

Спецификация SMSR предназначена для минимизации возможности ухудшения КОБ в результате действия шумов из-за перераспределения мод (MPN). Поскольку MPN – это переходный эффект, имеющий невысокую вероятность, измерения SMSR, выполняемые на PRBS или на непрерывных сигналах, могут привести к недооценке MPN. Спецификация SMSR относится только к лазерным источникам SLM.

6.2.1.5 Максимальная спектральная плотность мощности

Максимальная (оптическая) спектральная плотность мощности определяется как наивысший уровень усредненной во времени мощности на интервале 10 МГц в любом месте спектра модулированного сигнала. Следовательно, измерения должны выполняться с разрешением лучше (т. е. полоса пропускания оптического фильтра должна быть меньше), чем 10 МГц FWHM.

Этот параметр используется во избежание вхождения высокомошных источников с потенциально узкими спектральными полосами, таких как комбинации лазер-модулятор-усилитель, в режим вынужденного рассеяния Манделъштама-Бриллюэна. Однако эта спецификация относится ко всем типам источников.

6.2.2 Средняя излучаемая мощность

Средняя излучаемая мощность в точке MPI-S – это средняя мощность псевдослучайной последовательности данных, подаваемой из передатчика в волокно. Она определяется как диапазон, который позволяет выполнять некоторую оптимизацию по цене для покрытия расходов на эксплуатацию в стандартных условиях применения, ухудшения контактов передатчика, допусков на измерения, и влияния износа. Эти значения позволяют вычислить чувствительность и перегрузку для приемника в контрольной точке MPI-R.

В случае ошибки передающего оборудования, излучаемая мощность должна быть ограничена аспектами безопасности оптического волокна/лазера.

6.2.3 Коэффициент потерь

Минимальное допустимое значение коэффициента потерь (EX) определяется как:

$$EX = 10 \times \log_{10}(A/B),$$

где A – средний уровень оптической мощности в центре логической "1", а B – средний уровень оптической мощности в центре логического "0". Условное обозначение, принятое для оптических логических уровней, имеет вид:

- излучение света для логической "1";
- нет излучения для логического "0".

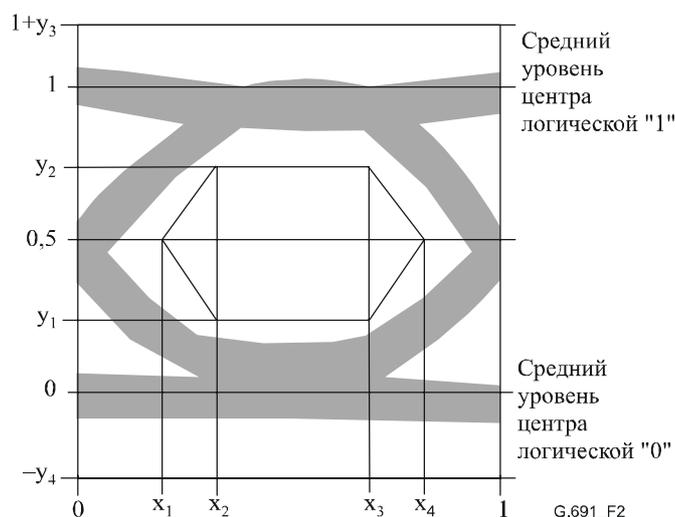
6.2.4 Маска глаз-диаграммы

В настоящей Рекомендации общие характеристики формы импульса передатчика, включая время нарастания, время спада, выброс переднего фронта импульса, неравномерность фронта импульса, затухающие колебания на заднем фронте импульса, которые должны управляться для предотвращения заметного ухудшения чувствительности приемника, определяются в виде маски глаз-диаграммы передатчика в точке MPI-S. С целью оценки передаваемого сигнала, важно учитывать не только раскрытие глаз-диаграммы, но также и допустимые пределы превышения и уменьшения. Параметры, определяющие маску глаз-диаграммы передатчика, показаны на рисунке 2. В Приложении А рассмотрены остальные аспекты определений маски глаз-диаграммы.

Для систем, использующих методы адаптации к дисперсии, основанные на предсказании сигнала, маска глаз-диаграммы, в том смысле, в котором она использовалась выше, может быть определена только в точках с предсказанными сигналами. Однако эти точки не совпадают с интерфейсами основного оптического пути и, следовательно, могут оказаться недоступными. Это определение требует дальнейших исследований.

Для систем, использующих для адаптации к дисперсии нелинейные эффекты (например, L-64.2b и V-64.2b), маска глаз-диаграммы может отличаться от маски глаз-диаграммы, используемой для линейных систем.

Кроме того, для систем, подверженных фазовой автомодуляции (ФАМ) из-за высокомошного выходного сигнала, требуется спецификация минимального времени нарастания во избежание помех, вызванных ФАМ. Минимальное время нарастания (от 10% до 90% величины одиночного импульса) для систем с уровнями мощности передатчика от +12 до +15 дБ должно составлять 30 пс. Для меньших уровней мощности, например, от +10 до +13 дБ, это значение и взаимодействие с линейной частотной модуляцией сигнала требует дальнейшего изучения.



	STM-4	STM-16	STM-64 (а, с) (Примечания 2, 3)	STM-64 (b) (Примечания 2, 4)
x_1/x_4		–	Требуется дальнейшего изучения	–
x_2/x_3	0,40/0,60	–	Требуется дальнейшего изучения	–
x_3-x_2	–	0,2	Требуется дальнейшего изучения	0,2
y_1/y_2	0,20/0,80	0,25/0,75	Требуется дальнейшего изучения	$\Delta + 0,25/\Delta + 0,75$, где Δ меняется $-0,25 < \Delta < +0,25$
y_3/y_4	0,20/0,20	0,25/0,25	Требуется дальнейшего изучения	0,25/0,25

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Для STM-16 и STM-64, x_2 и x_3 прямоугольной маски глаз-диаграммы не должны быть эквидистантными относительно вертикальной оси в точках UI и 1 UI. Степень отклонения требует дальнейшего изучения. Учитывая частоты, используемые в STM-16 и STM-64, и сложности создания такого фильтра (см. Приложение А), может потребоваться некоторый пересмотр значений параметров для STM-16 и STM-64 на основании опыта.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – а, b и с обозначают методы адаптации к дисперсии, используемые для приложений из таблиц 5с и 5d.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Включает в себя L-64.2а, L-64.2с и V-64.2а.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Включает в себя L-64.2b, L-64.3, V-64.2b и V-64.3.

Рисунок 2/G.691 – Маска глаз-диаграммы для оптического передаваемого сигнала

6.3 Оптический путь

Для того чтобы обеспечить качественную работу системы со всеми приложениями, рассмотренными в таблице 1, необходимо определить характеристики ослабления и дисперсии оптического пути между точками MPI-S и MPI-R.

6.3.1 Ослабление

В настоящей Рекомендации, ослабление для каждого приложения определяется в виде диапазона, характеризующего размер расстояний, указанных в таблице 1. Предполагается, что значения ослабления, указанные в спецификации, являются значениями для наихудшего случая, учитывающего потери на стыках, соединениях, оптических аттенюаторах (если они применяются) или других пассивных оптических устройствах, и любые дополнительные запасы в кабеле, необходимые для покрытия расходов на:

- 1) будущие модификации конфигурации кабеля (дополнительные спайки, увеличение длины кабеля и т. д.);
- 2) изменение качественных показателей волоконно-оптического кабеля под воздействием внешних факторов; и
- 3) ухудшение параметров любых соединительных элементов, оптических аттенюаторов или других пассивных оптических устройств между точками MPI-S и MPI-R, если они используются.

6.3.2 Дисперсия

6.3.2.1 Максимальная хроматическая дисперсия

Все системы, рассмотренные в настоящей Рекомендации, чувствительны к дисперсии. Некоторые из этих систем даже работают с превышением "классического" предела хроматической дисперсии за счет применения определенных компенсационных методов, известных как методы адаптации к дисперсии, см. п. 8.3. Этот параметр определяет максимальное некомпенсируемое значение хроматической дисперсии главного пути, при котором система может продолжать работать.

Требуемый максимальный допуск системы на дисперсию устанавливается как значение, равное заданному расстоянию, умноженному на 20 пс/км × нм для волокна G.652, и 3,3 пс/нм × км для волокна G.653 в области 1550 нм и для волокна G.652 в области 1310 нм. Это значение дисперсии считается значением для наихудшего случая для соответствующих типов волокна. Подход, основанный на определении этого параметра для наихудшего случая, предназначен для получения некоторых пределов этого чувствительного параметра, а также для обеспечения возможности увеличить расстояния передачи для кабелей с малыми потерями.

Допустимое ухудшение на оптическом пути учитывает все детерминированные эффекты, обусловленные хроматической дисперсией, а также ухудшение из-за средней дисперсии моды поляризации (PMD). Однако в это ослабление на пути не включены статистические изменения дисперсии средней моды поляризации, см. п. 6.4.3 и Дополнение I.

6.3.2.2 Минимальная хроматическая дисперсия

Системы, в которых применяется какая-либо форма компенсации дисперсии при помощи пассивных или активных средств, могут требовать наличия на пути сигнала определенной минимальной дисперсии.

Величина минимальной хроматической дисперсии – это наименьшее значение дисперсии, которое необходимо системе для нормальной работы. Это не значит, что не существует систем, которые могут работать с еще более малым значением дисперсии или вообще с нулевой дисперсией. Поскольку точная рабочая длина волны системы неизвестна, это значение определяется как минимальное значение для волокна G.652 во всем диапазоне рабочих длин волны системы.

6.3.2.3 Максимальное дифференциальное групповое время задержки

Дифференциальное групповое время задержки (ДГВЗ) – это разница во времени между двумя частями импульса, которые передаются в двух основных состояниях поляризации оптического сигнала. Для расстояния свыше нескольких километров, в предположении случайного (сильного) взаимодействия мод, ДГВЗ в волокне можно статистически смоделировать с использованием распределения Максвелла.

В настоящей Рекомендации максимальное дифференциальное групповое время задержки определяется как значение ДГВЗ, которое должно допускаться в системе с максимальным ухудшением чувствительности на 1 дБ.

Из-за статистической природы PMD, взаимосвязь между максимальным и средним значениями ДГВЗ можно определить только в вероятностном смысле. Вероятность того, что мгновенное значение ДГВЗ превысит любое заданное значение, может быть получена из статистических параметров Максвелла. Следовательно, если нам известно максимальное значение ДГВЗ, которое допустимо в данной системе, мы можем вывести эквивалентное среднее значение ДГВЗ, разделив его на отношение максимального значения к среднему, соответствующее допустимой вероятности. Некоторые примерные соотношения показаны далее в таблице 2.

Таблица 2/G.691 – Средние значения ДГВЗ и вероятности

Отношение максимального значения к среднему	Вероятность превышения максимума
3,0	$4,2 \times 10^{-5}$
3,5	$7,7 \times 10^{-7}$
4,0	$7,4 \times 10^{-9}$

6.3.3 Компенсация дисперсии

Типовой дисперсионный предел для систем STM-64, работающих в волокне G.652, составляет примерно 60 км при использовании идеального спектра источника (с ограниченными изменениями). Некоторые из систем, описанных в настоящей Рекомендации, работают с превышением этого предела за счет применения определенных методов, известных как методы адаптации к дисперсии (DA). Метод DA – это любой метод, используемый для передачи сигнала по определенному типу волокна на более длинные расстояния, чем возможно с использованием идеального сигнала с модуляцией интенсивности светового потока. Эти методы используются только в системах STM-64. Более подробные описания методов DA содержится в п. 8.3 и информационных приложениях III–V.

6.3.4 Отражения

Отражения возникают из-за неоднородности коэффициента преломления на оптическом пути. Если ими не управлять, отражения могут вызвать ухудшение качественных показателей системы за счет возмущающего действия на работу оптического источника или усилителя, или за счет многочисленных отражений, которые создают интерферометрический шум в приемнике. В настоящей Рекомендации отражения от оптического пути управляются путем определения:

- минимальных оптических потерь на отражение (ORL) кабеля в точке MPI-S, включая все соединительные элементы; и
- минимальных дискретных световых отражений между точками MPI-S и MPI-R.

Световые отражения означают отражение от любой отдельной точки отражения, тогда как потери на отражение – это суммарная возвращаемая мощность кабеля целиком, включая и дискретные отражения, и распределенные обратные излучения, например, рэлеевское рассеяние.

Методы измерения отражений описываются в Дополнении I/G.957. В ходе измерений отражений и оптических потерь на отражение, предполагается, что точки MPI-S и MPI-R совпадают с торцевой поверхностью соединительного элемента. Считается, что в этих величинах не учтены реальные качественные показатели соответствующих соединительных элементов рассматриваемой системы. Предполагается, что эти отражения имеют номинальные значения для определенного типа используемых соединительных элементов.

Максимальное число соединительных элементов или других точек дискретного отражения, которое может быть введено в оптический путь (например, для кроссов, или компонентов спектрального разделения по длинам волн (WDM)), должно быть таким, чтобы достигались определенные суммарные оптические потери на отражение. Если этого невозможно достичь с применением соединительных элементов, соответствующих параметрам максимальных дискретных отражений, показанных в таблицах 3–5, то должны применяться соединительные элементы с лучшими показателями отражения. Либо должно быть уменьшено количество соединительных элементов. Может потребоваться также ограничить количество соединительных элементов или использовать соединительные элементы с улучшенными показателями отражения во избежание недопустимых искажений из-за многочисленных отражений.

Указанное в таблицах 3–5 значение максимального дискретного отражения между точками MPI-S и MPI-R –27 дБ предназначено для минимизации влияния многочисленных отражений (например, интерферометрического шума). Значение максимального коэффициента отражения приемника выбирается так, чтобы гарантировать не превышение допустимых значений затухания из-за множественных отражений для всех похожих конфигураций системы, использующих множество соединительных элементов и т. д. Системы, использующие меньшее число соединительных элементов или соединительные элементы более высокого качества, создают меньше множественных отражений и, следовательно, могут допускать работу приемников с более высоким значением отражений.

6.4 Приемник

6.4.1 Чувствительность

Чувствительность приемника определяется как минимальное значение средней принимаемой мощности в точке MPI-R для получения КОБ = 1×10^{-12} . Это требование должно выполняться для передатчика, имеющего наихудшие значения маски глаз-диаграммы передатчика, коэффициента потерь, оптических потерь на отражение в точке MPI-S, ухудшения соединительных элементов приемника и допусков на измерения. Определение чувствительности приемника для наихудшего случая рассматривается далее в Приложении А.

Не требуется обеспечивать чувствительность приемника при наличии дисперсии или отражений от оптического пути. Эти эффекты определяются отдельно при распределении максимальных потерь оптического пути.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Не требуется обеспечивать чувствительность приемника в присутствии фазового дрожания передатчика, превосходящего соответствующий предел фазового дрожания (например, G.783 для вторичных оптических сигналов СЦИ).

Влияние износа отдельно в спецификации не определяется, поскольку оно, как правило, определяется в ходе переговоров между провайдером сети и производителем оборудования.

Типовое различие между номинальной температурой приемника в начале и конце его срока службы, в наихудшем случае, должно лежать в диапазоне от 2 до 4 дБ. Значения чувствительности приемника, показанные в таблицах 3–5, даны для наихудшего случая и конца срока службы.

6.4.2 Перегрузка

Перегрузка приемника – это максимально допустимое значение средней принимаемой мощности в точке MPI-R для КОБ = 1×10^{-12} .

6.4.3 Потери на трассе передачи

Потери на трассе передачи – это заметное снижение чувствительности приемника из-за искажения формы сигнала в ходе его передачи по трассе. Они проявляются в виде сдвига графиков КОБ системы в сторону более высоких уровней входного сигнала. Это соответствует положительным потерям на трассе передачи. В некоторых условиях могут появляться отрицательные потери на трассе передачи, но они должны быть малыми. (Отрицательные потери на трассе передачи означают, что недостаточно хорошая глаз-диаграмма передатчика была частично улучшена искажениями, зависящими от трассы). В идеале должны меняться только графики КОБ, но изменение формы не являются общими и могут означать появление горизонтальных уровней КОБ. Поскольку потери на трассе передачи – это изменение чувствительности приемника, они измеряются в точке с уровнем КОБ = 10^{-12} .

Допускаются максимальные потери на трассе передачи, равные 1 дБ для систем с малой дисперсией и 2 дБ для систем с большой дисперсией. Потери на трассе не должны быть пропорциональны требуемым расстояниям во избежание создания рабочих систем с большими потерями.

Для систем, в которых используются методы адаптации к дисперсии, основанные на предсказании сигнала в передатчике, потери на трассе передачи в вышеприведенном смысле могут быть определены только между точками с сигналами без предсказаний. Однако эти точки не совпадают с интерфейсами основного пути, и могут даже оказаться недоступными. Определение потерь на трассе передачи для этих случаев требует дальнейшего исследования.

Среднее значение случайных потерь из-за дисперсии в результате ФАМ включается в величину допустимых потерь на трассе передачи. В этой связи, требуется комбинированное устройство "передатчик/приемник" для допуска работы с реальным значением ДГВЗ = 0,3 периода бита при максимальном ухудшении чувствительности на 1 дБ (при этом на каждое принципиальное состояние поляризации приходится 50% оптической мощности). Для хорошо спроектированного приемника, это значение соответствует потерям 01–02 дБ для ДГВЗ = 0,1 периода бита. Реальная ДГВЗ в условиях эксплуатации, является параметром волокна/кабеля со случайным распределением, и в настоящей Рекомендации ее определить невозможно. Эта тема более подробно рассматривается в Дополнении I.

Отметим, что уменьшение величины SNR из-за оптического усиления не считается потерями на трассе передачи.

6.4.4 Отражения

Отражения от приемника обратно в кабель определяются максимально допустимым отражением от приемника, измеренным в контрольной точке MPI-R.

7 Значения оптических параметров

Значения оптических параметров для приложений, перечисленных в таблице 1, приводятся в таблицах 3–5. Определения даны в п. 6. Некоторые методы измерения рассмотрены в дополнениях и приложениях. Эти таблицы не препятствуют использованию систем, которые удовлетворяют требованиям, приведенным для нескольких кодов приложения.

Оконечное оборудование может, в принципе, быть организовано различными способами, соответствуя требованиям основного пути. Существуют также различные возможности, которые повышают гибкость основного кода приложения, и которые указаны в примечаниях.

Для удовлетворения конкретных требований, таких как возможность модернизации, допустимость более высоких потерь или борьба с оптическими нелинейностями, могут использоваться большие или меньшие диапазоны уровня мощности. В данный момент в настоящей Рекомендации эти уровни мощности не определяются.

В данный момент значения оптических параметров в настоящей Рекомендации получены без применения внутрисполосной коррекции ошибок FEC, соответствующей Рек. МСЭ-Т G.707/Y.1322.

**Таблица 3/G.691 – Параметры, установленные спецификацией для STM-4
оптические интерфейсы**

Код приложения (Таблица 1)	Единицы измерения	V-4.1	V-4.2	V-4.3	U-4.2	U-4.3
		(Прим. 1)	(Прим. 2)	(Прим. 2)	(Прим. 3)	(Прим. 3)
Передатчик в контрольной точке MPI-S						
Рабочий диапазон длин волн	нм	1 290– 1 330	1 530– 1 565	1 530– 1 565	1 530– 1 565	1 530– 1 565
Средняя излучаемая мощность						
– максимальная	дБм	4	4	4	15	15
– минимальная	дБм	0	0	0	12	12
Спектральные характеристики						
– максимальная ширина по уровню –20 дБ	нм	ffs	ffs	ffs	ffs	ffs
– параметр линейной частотной модуляции, α	рад	NA	NA	NA	NA	NA
– макс. спектральная плотность мощности	мВт/ 10 МГц	ffs	ffs	ffs	ffs	ffs
– минимальный коэффициент подавления боковой моды	дБ	ffs	ffs	ffs	ffs	ffs
Минимальный коэффициент потерь	дБ	10	10	10	10	10
Основной оптический путь, MPI-S – MPI-R						
Диапазон ослабления						
– максимальное	дБ	33	33	33	44	44
– минимальное	дБ	22	22	22	33	33
Хроматическая дисперсия						
– максимальная	пс/нм	200	2 400	400	3 200	530
– минимальная	пс/нм	NA	NA	NA	NA	NA
Максимальная ДГВЗ	пс	480	480	480	480	480
Минимальные оптические потери на отражение кабеля в точке MPI-S, включая все соединительные элементы	дБ	24	24	24	24	24
Максимальное дискретное отражение между точками MPI-S и MPI-R	дБ	–27	–27	–27	–27	–27
Приемник в контрольной точке MPI-R						
Минимальная чувствительность (КОБ = 1×10^{-12})	дБм	–34	–34	–34	–34	–33
Минимальная перегрузка	дБм	–18	–18	–18	–18	–18
Максимальные потери оптического пути	дБ	1	1	1	2	1
максимальное отражение приемника, измеренное в точке MPI-R	дБ	–27	–27	–27	–27	–27

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Заданное расстояние достигается только для указанных потерь в кабеле, включая стыки, и потерь в кабеле не более 0,55 дБ/км.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Для допущений, принятых в п. 8.4, передатчик и приемник G.957 совместно с линейным усилителем имеют похожие характеристики работы.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Вместо оптического линейного усилителя может использоваться оптический предусилитель, описанный в спецификации, например U-16.x или V-64.x. В такой системе диапазон значений ослабления может быть несколько меньше.

**Таблица 4/G.691 – Параметры, установленные спецификацией для
оптических интерфейсов STM-16**

Код приложения (Таблица 1)	Единицы измерения	V-16.2	V-16.3	U-16.2	U-16.3
		(Прим. 1, 2)	(Прим. 1, 2)		
Передатчик в контрольной точке MPI-S					
Рабочий диапазон длин волн	нм	1 530–1 565	1 530–1 565		
Средняя излучаемая мощность					
– максимальная	дБм	13	13		
– минимальная	дБм	10	10		
Спектральные характеристики					
– максимальная ширина по уровню –20 дБ	нм	ffs	ffs		
– параметр линейной частотной модуляции, α	рад	ffs	ffs		
– максимальная спектральная плотность мощности	мВт/ 10 МГц	ffs	ffs		
– минимальный коэффициент подавления боковой моды	дБ	ffs	ffs		
Минимальный коэффициент потерь	дБ	8,2	8,2		
Основной оптический путь, MPI-S – MPI-R					
Диапазон ослабления					
– максимальное	дБ	33	33		
– минимальное	дБ	22	22		
Хроматическая дисперсия					
– максимальная	пс/нм	2 400	400		
– минимальная	пс/нм	NA	NA		
Максимальная ДГВЗ	пс	120	120		
Минимальные оптические потери на отражение кабеля в точке MPI-S, включая все соединительные элементы	дБ	24	24		
Максимальное дискретное отражение между точками MPI-S и MPI-R	дБ	–27	–27		
Приемник в контрольной точке MPI-R					
Минимальная чувствительность (КОБ = 1×10^{-12})	дБм	–25	–24		
Минимальная перегрузка	дБм	–9	–9		
Максимальные потери оптического пути	дБ	2	1		
Максимальное отражение приемника, измеренное в точке MPI-R	дБ	–27	–27		
<p>ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Вместо оптического линейного усилителя может использоваться оптический предусилитель, описанный в спецификации, например U-16.x или V-64.x. В такой системе диапазон значений ослабления может быть несколько меньше.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Для допущений, принятых в п. 8.4, передатчик и приемник G.957 совместно с линейным усилителем имеют похожие характеристики работы.</p>					

Параметры приведены в Рек. G.959.1, код P1U1-1A2

Параметры приведены в Рек. G.959.1, код P1U1-1A3

**Таблица 5а/G.691 – Параметры, установленные спецификацией для
оптических интерфейсов STM-64**

Код приложения (Таблица 1)	Единицы измерения	I-64.1r	I-64.1	I-64.2r	I-64.2	I-64.3	I-64.5
Передатчик в контрольной точке MPI-S							
Тип источника							
Рабочий диапазон длин волн	нм						
Средняя излучаемая мощность							
– максимальная	дБм						
– минимальная	дБм						
Спектральные характеристики							
– максимальная среднеквадратическая ширина(σ)	нм						
– максимальная ширина по уровню –20 дБ	нм						
– параметр линейной частотной модуляции, α	рад						
– максимальная спектральная плотность мощности	мВт/ 10 МГц						
– минимальный коэффициент подавления боковой моды	дБ						
Минимальный коэффициент потерь	дБ						
Основной оптический путь, MPI-S – MPI-R							
Диапазон ослабления							
– максимальное	дБ						
– минимальное	дБ						
Хроматическая дисперсия							
– максимальная	пс/нм						
– минимальная	пс/нм						
Пассивная компенсация дисперсии							
– максимальная	пс/нм						
– минимальная	пс/нм						
Максимальная ДГВЗ	пс						
Минимальные оптические потери на отражение кабеля в точке MPI-S, включая все соединительные элементы	дБ						
Максимальное дискретное отражение между точками MPI-S и MPI-R	дБ						
Приемник в контрольной точке MPI-R							
Минимальная чувствительность (КОБ = 1×10^{-12})	дБм						
Минимальная перегрузка	дБм						
Максимальные потери оптического пути	дБ						
максимальное отражение приемника, измеренное в точке MPI-R	дБ						
ПРИМЕЧАНИЕ. – Во всех приложениях, описанных в настоящей Рекомендации, в качестве источника используются лазеры с одной продольной модой (SLM), за исключением приложения I-64.1r, в котором используются лазеры с несколькими продольными модами (MLM).							

Таблица 5b/G.691 – Параметры, установленные спецификацией для оптических интерфейсов STM-64

Код приложения (Таблица 1)	Единицы измерения	S-64.1	S-64.2a	S-64.2b	S-64.3a	S-64.3b	S-64.5a	S-64.5b
Передатчик в контр. точке MPI-S								
Рабочий диапазон длин волн	нм							
Средняя излучаемая мощность								
– максимальная	дБм							
– минимальная	дБм							
Спектральные характеристики								
– максимальная ширина по уровню –20 дБ	нм							
– параметр линейной частотной модуляции, α	рад							
– максимальная спектральная плотность мощности	мВт/ 10 МГц							
– минимальный коэффициент подавления боковой моды	дБ							
Мин. коэффициент потерь	дБ							
Основной оптический путь, MPI-S – MPI-R								
Диапазон ослабления								
– максимальное	дБ							
– минимальное	дБ							
Хроматическая дисперсия								
– максимальная	пс/нм							
– минимальная	пс/нм							
Пассивная компенсация дисперсии								
– максимальная	пс/нм							
– минимальная	пс/нм							
Максимальная ДГВЗ	пс							
Минимальные оптические потери на отражение кабеля в точке MPI-S, включая все соединительные элементы	дБ							
Макс. дискретное отражение между MPI-S и MPI-R	дБ							
Приемник в контр. точке MPI-R								
Миним. чувствительность (КОБ = 1×10^{-12})	дБм							
Минимальная перегрузка	дБм							
Максимальные потери оптического пути	дБ							
Максимальное отражение приемника, измеренное в точке MPI-R	дБ							
ПРИМЕЧАНИЕ. – В S-64.2a, 3a и 5a уровни мощности передатчика соответствуют приемникам APD; В S-64.2b, 3b и 5b уровни мощности передатчика соответствуют приемникам PIN.								

Таблица 5с/G.691 – Параметры, установленные спецификацией для оптических интерфейсов STM-64

Код приложения (Таблица 1)	Единицы измерения	L-64.1	L-64.2a	L-64.2b	L-64.2c	L-64.3
			(Прим. 1, 2)	(Прим. 1)	(Прим. 1)	
Передатчик в контрольной точке MPI-S						
Рабочий диапазон длин волн	нм		1 530–1 565	1 530–1 565	1 530–1 565	1 530–1 565
Средняя излучаемая мощность						
– максимальная	дБм		+2	13	+2	13
– минимальная	дБм		-2	10	-2	10
Спектральные характеристики						
– максимальная ширина по уровню -20 дБ	нм		ffs	ffs	ffs	ffs
– параметр линейной частотной модуляции, α	рад		ffs	ffs	ffs	ffs
– максимальная спектральная плотность мощности	мВт/ 10 МГц		ffs	ffs	ffs	ffs
– минимальный коэффициент подавления боковой моды	дБ		ffs	ffs	ffs	ffs
Минимальный коэффициент потерь	дБ		10	8,2	10	8,2
Основной оптический путь, MPI-S – MPI-R						
Диапазон ослабления						
– максимальное	дБ		22	22	22	22
– минимальное	дБ		11	16	11	16
Хроматическая дисперсия						
– максимальная	пс/нм		1 600	1 600	1 600	260
– минимальная	пс/нм		ffs	ffs	ffs	NA
Пассивная компенсация дисперсии						
– максимальная	пс/нм		ffs	NA	NA	NA
– минимальная	пс/нм		ffs	NA	NA	NA
Максимальная ДГВЗ	пс		30	30	30	30
Минимальные оптические потери на отражение кабеля в точке MPI-S, включая все соединительные элементы	дБ		24	24	24	24
Макс. дискретное отражение между точками MPI-S и MPI-R	дБ		-27	-27	-27	-27
Приемник в контрольной точке MPI-R						
Минимальная чувствительность (КОБ = 1×10^{-12})	дБм		-26	-14	-26	-13
Минимальная перегрузка	дБм		-9	-3	-9	-3
Максимальные потери оптического пути	дБ		2	2	2	1
Макс.отражение приемника, измеренное в точке MPI-R	дБ		-27	-27	-27	-27
ПРИМЕЧАНИЕ 1. – В L-64.2a в качестве DA используется PDC, в L-64.2b в качестве DA используется ФАМ, в L-64.2c в качестве DA используется предварительная линейная частотная модуляция. ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Значение и размещение PDC описано в п. 8.3.2.						

Таблица 5d/G.691 – Параметры, установленные спецификацией для оптических интерфейсов STM-64

Код приложения (Таблица 1)	Единицы измерения	V-64.2a	V-64.2b	V-64.3
		(Прим. 1, 2)	(Прим. 2)	
Передатчик в контрольной точке MPI-S				
Рабочий диапазон длин волн	нм	1 530–1 565	1 530–1 565	1 530–1 565
Средняя излучаемая мощность				
– максимальная	дБм	13	15	13
– минимальная	дБм	10	12	10
Спектральные характеристики				
– максимальная ширина по уровню –20 дБ	нм	ffs	ffs	ffs
– параметр линейной частотной модуляции, α	рад	ffs	ffs	ffs
– максимальная спектральная плотность мощности	мВт/ 10 МГц	ffs	ffs	ffs
– минимальный коэффициент подавления боковой моды	дБ	ffs	ffs	ffs
Минимальный коэффициент потерь	дБ	10	8,2	8,2
Основной оптический путь, MPI-S – MPI-R				
Диапазон ослабления				
– максимальное	дБ	33	33	33
– минимальное	дБ	22	22	22
Хроматическая дисперсия				
– максимальная	пс/нм	2 400	2 400	400
– минимальная	пс/нм	ffs	ffs	NA
Пассивная компенсация дисперсии				
– максимальная	пс/нм	ffs	ffs	NA
– минимальная	пс/нм	ffs	ffs	NA
Максимальная ДГВЗ	пс	30	30	30
Минимальные оптические потери на отражение кабеля в точке MPI-S, включая все соединительные элементы	дБ	24	24	24
Макс. дискретное отражение между точками MPI-S и MPI-R	дБ	–27	–27	–27
Приемник в контрольной точке MPI-R				
Минимальная чувствительность (КОБ = 1×10^{-12})	дБм	–25	–23	–24
Минимальная перегрузка	дБм	–9	–7	–9
Максимальные потери оптического пути	дБм	2	2	1
Макс. отражение приемника, измеренное в точке MPI-R	дБ	–27	–27	–27
ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Значение и размещение PDC описано в п. 8.3.2				
ПРИМЕЧАНИЕ 2. – В V-64.2a в качестве DA используется PDC, а в V-64.2b в качестве DA используется комбинация ФАМ и PDC.				

8 Оптико-инженерный подход

8.1 Предположения по проектированию

В настоящем параграфе рассматриваются аспекты проектирования, связанные, с элементами, вводимыми в настоящей Рекомендации, например, с оптическими усилителями и устройствами адаптации к дисперсии. Общее рассмотрение наихудшего случая и статистического проектирования приводится в Рек. МСЭ-Т G.957.

8.2 Нелинейности

В результате введения в тракт оптических усилителей могут быть достигнуты достаточно большие уровни мощности, которые оказывают значительное влияние на оптические нелинейности. Более подробно эти нелинейности рассматриваются в Рек. МСЭ-Т G.663.

8.3 Адаптация к дисперсии

Типичный дисперсионный предел для систем STM-64, работающих на волокне G.652, составляет примерно 60 км при использовании идеального спектра источника (с ограниченными изменениями). Некоторые из систем, описанных в настоящей Рекомендации, работают с превышением этого предела за счет применения определенных методов, известных как методы адаптации к дисперсии (DA). Метод DA – это любой метод, используемый для передачи сигнала по определенному типу волокна на более длинные расстояния, чем возможно с использованием идеального сигнала с модуляцией интенсивности светового потока. Эти методы используются только в системах STM-64.

На данный момент в настоящую Рекомендацию включены следующие методы DA – пассивная компенсация дисперсии (PDC), фазовая автомодуляция (ФАМ), предварительная линейная частотная модуляция (PCH) и передача при наличии дисперсии (DST). Выбор предпочтительного метода требует дальнейшего изучения.

8.3.1 Принцип проектирования

Адаптация к дисперсии требуется в волокне G.652 длиной более 50–60 км при передаче данных на скоростях STM-64. Системы S-64.2 работают ниже этого предела и не используют никаких DA. В системах L-64.2 применяется некоторый вид DA для компенсации дополнительной дисперсии, возникающей на расстоянии 40–80 км. Это могут быть методы DA различного вида.

В системах L-64.2 используются как активные, так и пассивные методы DA. В пассивных методах для компенсации дисперсии, свойственной волокну, применяется PDC. Активные методы (ФАМ, PCH и DST), наоборот, меняют параметры таким образом, чтобы сбалансировать дисперсию. В системах V-64.2 для компенсации дополнительных 40 км волокна добавляется дополнительный пассивный DA.

На практике все предложенные на сегодняшний день схемы DA компенсируют дисперсию на ограниченном расстоянии и не способны работать во всем диапазоне от нулевой длины до полной длины линии. Эти системы могут зависеть от некоторой минимальной дисперсии, которая должна быть представлена в линии. Следовательно, вводится параметр "минимальная хроматическая дисперсия". При проверке систем DA методом взаимной нагрузки для некоторых систем может потребоваться введение в испытательную установку минимальной дисперсии. Это аналогично использованию аттенуаторов, для того чтобы не перегрузить приемник в ходе испытания методом взаимной нагрузки.

Все методы должны быть трансверсально совместимы для своего кода приложения. Однако до определения спектральных характеристик и методов измерения трансверсальная совместимость гарантирована быть не может. Трансверсальная совместимость для различных методов адаптации к дисперсии является предметом дальнейшего изучения.

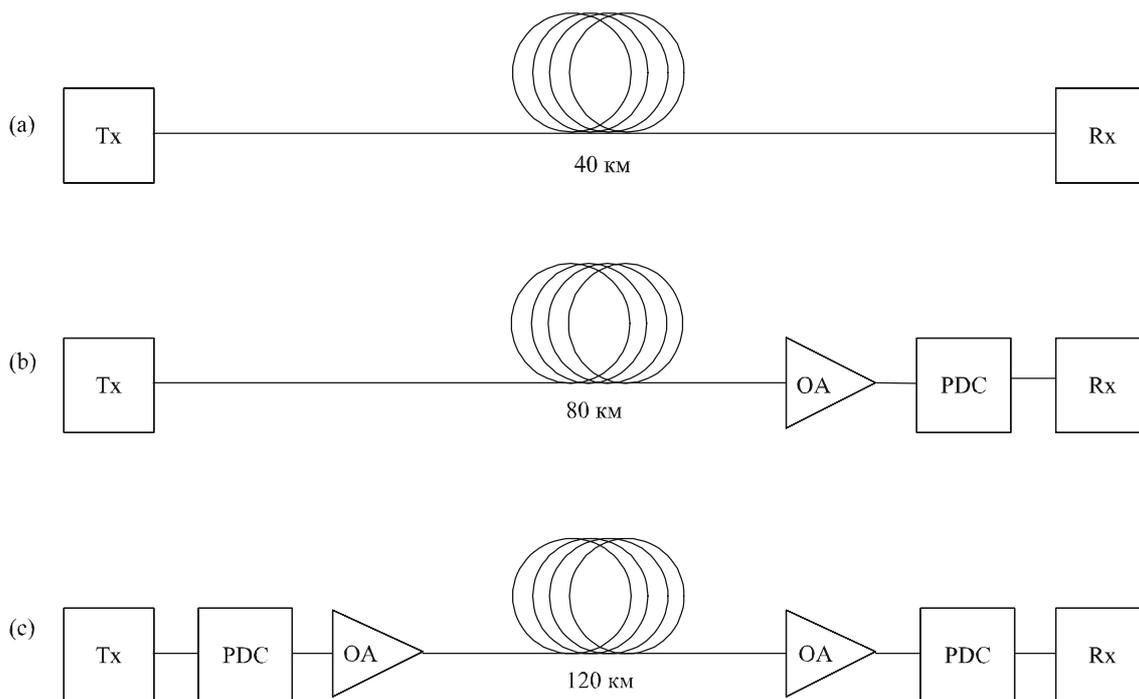
8.3.2 Пассивная компенсация дисперсии

Одним из методов превышения дисперсионного предела является добавление пассивного компенсатора дисперсии (PDC) в передатчик, в приемник или в оба устройства. Настоящая Рекомендация должна охватить все типы пассивных компенсаторов дисперсии.

Предполагается, что PDC не вводится в основной путь, так как потери, вносимые устройством (в настоящее время они достигают нескольких дБ), уменьшат диапазон ослабления системы. Вместо этого, PDC, как правило, устанавливается перед оптическим усилителем мощности или после оптического предусилителя. Усиление усилителей используется для компенсации потерь от введения PDC, без трат бюджета мощности системы.

Данное описание не относится к какому-нибудь конкретному уровню интеграции передатчика или приемника, т. е. они могут быть реализованы либо в виде автономных устройств, либо интегрированных, возможно с усилителями, передатчиками и приемниками.

Основной принцип использования PDC в системах STM-64 заключается в том, что S-системы длиной 40 км проектируются без DA. Для каждого более длинного кода приложения, т. е. L-64.2 и V-64.2, добавляется один пассивный компенсатор дисперсии (PDC) на каждые дополнительные 40 км, см. рисунок 3. Таким образом, номинальное значение дисперсии для каждого PDC становится равным -680 пс/нм для волны 1550 нм. Точное значение дисперсии, а равно должен ли пассивный компенсатор дисперсии создавать недокомпенсацию или перекомпенсацию, требует дальнейшего изучения. Теоретически PDC для системы L-64.2 должен будет компенсировать только разницу между требуемым расстоянием и типичным дисперсионным пределом. Однако это приведет к малым рабочим запасам, и представленный подход также содействует применению идентичных модулей оборудования, которые используются во всех системах. Устройства PDC определяются в Рек. МСЭ-Т G.671.



G.691_F3

ПРИМЕЧАНИЕ. – Значение и места размещения PDC требуют дальнейшего изучения.

Рисунок 3/G.691 – Схема пассивной компенсации дисперсии для систем без канальных усилителей

Если PDC используется на стороне передатчика, то PDC создает предискажение сигнала до того, как он будет передан в оптический путь. Глаз-диаграммы передатчика, определенные в п. 6.2.4, в точке MPI-S не доступны. Если имеются сигналы без предискажений, то в этой точке действительны спецификации для глаз-диаграмм. Спецификация глаз-диаграммы в точке MPI-S для систем с предискажениями требует дальнейшего изучения.

Поскольку использование PDC на стороне передатчика предполагает применение оптического линейного усилителя для компенсации потерь, вносимых PDC, уровни мощности будут достаточно большими для генерации ФАМ и, возможно, других нелинейных искажений сигнала. Однако PDC является линейным компенсатором дисперсии, и нелинейные искажения передаваемого сигнала могут ухудшить линейную компенсацию дисперсии, если она применяется на передатчике.

Следовательно, в системах L-64.2 PDC следует устанавливать на приемнике. В результате используется оптический предусилитель и передатчик без усиления, то есть, создается система, которая не работает в нелинейном режиме.

В системах V-64.2, где необходимо применение линейного усилителя, может потребоваться предпринимать другие действия для гарантии того, что нелинейные эффекты не чересчур заметно ухудшают линейную компенсацию дисперсии, которая размещается на стороне передатчика. Этот вопрос требует дальнейшего изучения.

Если PDC располагается в волоконном кабеле, то считается, что он принадлежит кабелю, при этом он будет, как правило, "конвертировать" путь G.652 в путь типа G.653, если уровень мощности передачи ниже, чем примерно +10 дБм, и характеристики оптического пути линейны. Таким образом, считается, что сама система является системой X-xx.3, а требования системы относительно ослабления на пути сигнала и дисперсии определяются кодами приложения X-xx.3. Частичная компенсация на трассе считается совместной работой и в настоящей Рекомендации не рассматривается.

8.3.3 Фазовая автомодуляция

Фазовая автомодуляция (ФАМ) используется в волокне G.652 нелинейный электрооптический эффект Керра для компрессии импульса, которая повышает расстояние передачи. Информационное описание этого метода приведено в Дополнении II.

Поскольку для реализации этого метода требуется, чтобы уровень мощности сигнала находился бы на нелинейном участке характеристик волокна, эффект компенсации дисперсии при помощи ФАМ создается передаваемой мощностью и возникает в волокне вблизи передатчика, если мощность сигнала превышает порог нелинейности. Когда сигнал распространяется на расстояние порядка 15–40 км (с уровнями мощности, используемыми в системах L- и V-64.2), он ослабляется, так что более не находится на нелинейном участке характеристики. Следовательно, распространение на оставшейся части становится линейным. Это позволяет объединять ФАМ на стороне передатчика с PDC на стороне приемника.

На распространение импульса также влияет линейная частотная модуляция импульса, которая также может использоваться для компрессии импульса. Следовательно, необходимо определить параметр линейной частотной модуляции. Для того чтобы не вводить излишней компенсации дисперсии, параметр линейной частотной модуляции при использовании ФАМ должен быть близким к нулю.

Нелинейная фазовая модуляция зависит также от формы импульса. Она может привести к тому, что у систем, использующих ФАМ, окажется иная маска глаз-диаграммы по сравнению с линейными системами. Этот вопрос требует дальнейшего изучения.

8.3.4 Предварительная линейная частотная модуляция

Другой метод основан на использовании для компрессии импульса предварительной линейной частотной модуляции в передатчике и, таким образом, увеличении дальности передачи. Однако применение в таком случае высокомоощного передатчика увеличит и предварительную линейную частотную модуляцию и ФАМ одновременно. Эта комбинация приведет к излишней компенсации в системе с кодом приложения L-64.

Следовательно, схема линейной частотной модуляции используется с маломощными передатчиками и приемниками с оптическими предусилителями. Однако такое положение дел приведет к тому, что требуемые уровни мощности передатчика будут составлять –1 дБм, чего на сегодняшний день может быть нелегко достичь для передатчиков всех типов. Параметры интерфейсов передатчика и приемника для этого кода приложения требуют дальнейшего изучения.

8.3.5 Объединение методов

В настоящее время определена только одна комбинация методов DA – применение ФАМ вместе с PDC в системе V-64.2. ФАМ используется для компенсации дисперсии на первых 80 км, как в базовой системе L-64.2b, основанной на ФАМ, а дополнительные 40 км полностью компенсируются при помощи PDC. Этот последний метод компенсации выполняется в линейном режиме, и, следовательно, нелинейный метод, используемый для первой части линии на него влиять не будет.

Аналогично, система DST, разработанная для работы на расстоянии 80 км (DST L-64.2), может комбинироваться с PDC в системе V-64.2, если дополнительные 40 км полностью компенсируются пассивным компенсатором дисперсии (PDC).

8.3.6 Передача, поддерживаемая дисперсией

Еще один метод – передача, поддерживаемая дисперсией (DST), использует для адаптации к дисперсии комбинацию модуляции интенсивности излучения и частотной модуляции вместо одной только модуляции интенсивности излучения. Подробное описание и спецификация метода DST, применяемого к системам L-64.2 и V-64.2, приведены в Дополнении III.

8.4 Автономные усилители

Автономный усилитель (оптическое усилительное устройство) может использоваться для новых установок или для модернизации трассы. В любом случае автономный линейный усилитель или предусилитель через интерфейсы, определенные в настоящей Рекомендации, соединяется с одной стороны с основным путем, а с другой – с системой, не оснащенной усилителем (G.957, S-64.x и т. д.). Поскольку задачей автономного усилителя является увеличение расстояния передачи, системный интегратор должен удостовериться, что свойства системы, не оснащенной усилителем, с которой соединяется усилитель таковы, что она способна работать на более дальнее расстояние. Для этого могут потребоваться диапазоны длин волн и спектральные характеристики, предлагаемые в 6.1/G.957 и 6.2.2/G.957, и дополнительные значения параметров в соответствии с настоящей Рекомендацией.

Если исходная система не обладает свойствами, необходимыми для работы на большие расстояния, функции автономного усилителя могут быть расширены, для того чтобы эти параметры стали бы совместимы с настоящей Рекомендацией. При этом может быть, например, реализованы некоторые методы адаптации к дисперсии, описанные в п. 8.3, или может использоваться транспондер для спектрального преобразования.

Управление автономными линейными усилителями и предусилителями может быть выполнено через электрический интерфейс с оборудованием СЦИ или путем прямого доступа к системе управления.

8.5 Возможности модернизации

Ожидается, что в ближайшем будущем требования систем по емкости передачи, описанные в настоящей Рекомендации, будут увеличены. Ключевую роль в том, чтобы обеспечить соответствие этой эволюции будет играть возможность модернизации.

Термин "модернизация" означает любое изменение оборудования, направленное на достижение улучшенного качества, которое не требует новых кабелей или строений. Большая часть модернизации требует замены оборудования, в таком случае модернизация, по определению, предполагает перерыв в обслуживании. Однако для того чтобы система могла продолжать работать, когда некоторые ее части отключены, используется переключение на резерв. Как правило, при модернизации качество системы не ухудшается.

Упреждающая коррекция ошибок (FEC) может обеспечить как улучшение КОБ, так и дополнительный запас на передачу. Для систем СЦИ, рассматриваемых в настоящей Рекомендации, применима только внутриполосная FEC, соответствующая Рек. МСЭ-Т G.707/Y.1322. Однако когда FEC отключена, применимы значения оптических параметров, определенные для соответствующих кодов приложения. Возможные изменения значений оптических параметров при использовании FEC требуют дальнейшего изучения.

Различные типы модернизаций показаны с разбивкой по категориям в п. 8.5.1, а в п. 8.5.2 приведены методические указания по модернизации.

8.5.1 Типы модернизации

8.5.1.1 Модернизация для достижения большей дальности передачи

Как правило, модернизация для достижения большей дальности передачи равноценна "повторному использованию или замене оборудования", поскольку для больших расстояний требуются большие перекрываемые затухания и более жесткие допуски, например, на спектральные характеристики.

8.5.1.2 Модернизация для достижения более высоких скоростей

Расширение пропускной способности за счет перехода на более высокие скорости передачи также означает замену оборудования и приводит к прерыванию работы, если не предпринимать никаких дополнительных мер (например, переключение на резерв). В пределах рабочего диапазона длин волн требуемые расстояния для внутристанционных систем набираются из участков, одинаковых для каждого диапазона длин волн (40 км для диапазона 1550 нм и 20 км для диапазона 1310 нм).

В Дополнении V содержится дополнительная информация о модернизации систем для достижения более высоких скоростей.

8.5.1.3 Модернизация одноканальной системы с превращением ее в многоканальную

Модернизация одноканальной системы с превращением ее в многоканальную – это работа, требующая выключения кабеля и относящаяся к типу работ с повторным использованием оборудования. Если необходимо расширить пропускную способность, то с самого начала следует использовать многоканальную систему.

8.5.1.4 Модернизация с использованием автономных оптических усилителей

При использовании для целей модернизации автономного усилителя, применяются те же положения, что и в п. 8.4.

8.5.2 Руководство по модернизации

Возможность модернизации одноканальных и многоканальных систем без канальных усилителей может оказаться невыгодной, так как при модернизации для достижения более высоких скоростей передатчики и приемники с оптическим усилением должны быть существенно изменены или вообще заменены и повторно используются только кабели.

Возможность модернизации одноканальной системы с превращением ее в многоканальную может оказаться невыгодной. Это происходит из-за того, что принципы проектирования этих систем сильно отличаются с различных точек зрения, включая разработку и управление кабельных усилителей, бюджет мощности в линии и адаптация к дисперсии, нелинейности волокна и отношения сигнал/шум.

8.6 Принципы оптической безопасности

Принципы оптической безопасности изложены в Рек. МСЭ-Т G.664.

Приложение А

Ухудшение коэффициента контрастности и маски глаз-диаграммы

А.1 Измерение параметров

Спецификация измерения параметров маски глаз-диаграммы разделена на две части; одна – для интерфейсов STM-4 и STM-16, а вторая – для интерфейсов STM-64.

- i) Для STM-4/STM-16 предполагается использование процедур измерений маски глаз-диаграммы и контрольного приемника, описанных в Приложении В/G.957, т. е. с использованием фильтра Бесселя-Томпсона четвертого порядка с соответствующими частотами среза для рассматриваемой скорости передачи. Значения допусков этого контрольного приемника приводятся в таблице А.1.
- ii) Для STM-64 также предполагается использование процедур измерения маски глаз-диаграммы и оптического контрольного приемника, описанных в Приложении В/G.957, т. е. с использованием фильтра Бесселя-Томпсона четвертого порядка с соответствующими STM-64 частотами среза. Однако для этой скорости функция оптического контрольного приемника определяется как суммарная частотная характеристика любой комбинации фотодетекторов, фильтра низких частот и функциональных элементов осциллографа вместе с любыми связями между этими элементами. Значения допусков этой функции передачи приводятся в последнем столбце (STM-64) таблицы А.1.

Таблица А.1/G.691 – Значения допусков на ослабление оптического контрольного приемника

f/f_c	$\Delta\alpha$ [дБ]		
	STM-4	STM-16	STM-64
от 0,001 до 1	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 0,85$
от 1 до 2 (Примечание)	от $\pm 0,3$ до $\pm 2,0$	от $\pm 0,5$ до $\pm 3,0$	от $\pm 0,85$ до $\pm 4,0$

ПРИМЕЧАНИЕ. – Промежуточные значения $\Delta\alpha$ следует находить в результате линейной интерполяции по логарифмической частотной шкале.

На рисунке А.1 показано ухудшение, вызванное неидеальностью характеристик маски глаз-диаграммы и коэффициента потерь (ЕХ). На этом рисунке ЕХ представляет собой отношение a/b , а относительное раскрытие глаз-диаграммы представляет собой отношение d/c . В идеале, ЕХ является бесконечным, а глаз-диаграмма полностью открыта и симметрична. Таким образом, для модуляции доступна полная оптическая мощность, а ухудшение ЕХ и маски глаз-диаграммы составляет 0 дБ.

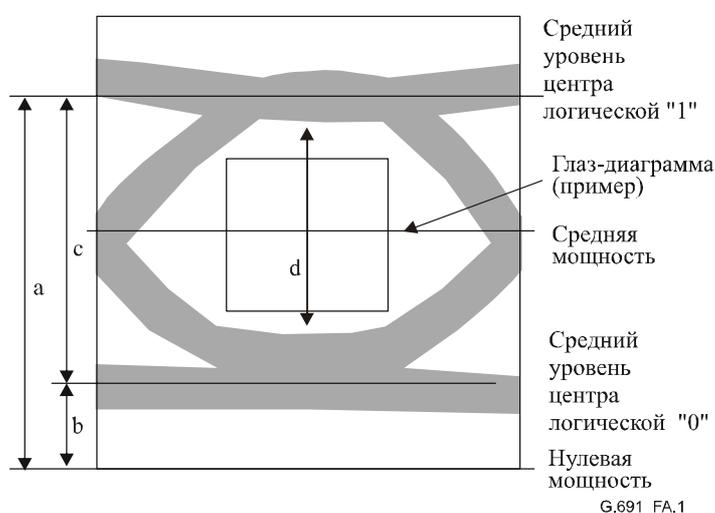


Рисунок А.1/G.691 – Ухудшение глаз-диаграммы и коэффициента контрастности

А.2 Ухудшение коэффициента контрастности

Ухудшение коэффициента контрастности означает, что некоторая часть оптической мощности не может быть промодулирована, что соответствует ухудшению чувствительности приемника. Точное значение ухудшения зависит от приложения и варианта реализации приемника.

А.3 Ухудшение маски глаз-диаграммы

В дополнение к ограниченному значению ЕХ, может закрываться просвет глаз-диаграммы от его средних значений уровней "0" и "1" в результате неидеальности переходных процессов импульса, таких как время нарастания и спада, выбросы на фронтах, и т. д. Если относительно раскрытие глаз-диаграммы d/c меньше единицы, возникает ухудшение. Ухудшение маски глаз-диаграммы, P_{EM} , можно записать в виде:

$$P_{EM} = 10 \log \left(\frac{d}{c} \right) \quad [\text{дБ}],$$

что соответствует потери чувствительности приемника по сравнению с сигналом с полностью раскрытой глаз-диаграммой.

Поскольку КОБ – это очень крутая функция сигнала, один-единственный изъян может изменить все значение КОБ. Следовательно, КОБ определяют наиболее близкие к центру линии глаз-диаграммы (раскрытие глаз-диаграммы). Даже те линии, которые появляются настолько редко, что их непросто увидеть при измерениях маски глаз-диаграммы (из-за ограниченного времени измерений), могут оказывать существенное влияние на КОБ.

Представленная маска глаз-диаграммы позволяет работать при закрытии глаза на 50% от его полного раскрытия. Реальное ухудшение работы системы, связанное со степенью закрытия глаза, зависит от варианта реализации системы. В данной ситуации ухудшение маски глаз-диаграммы можно достаточно хорошо оценить как относительное раскрытие глаза (по вертикали) в точке принятия решения приемника.

Для того чтобы оценить ухудшение маски глаз-диаграммы, измерительный фильтр для маски глаз-диаграммы и процедура измерений должны соответствовать характеристикам используемого приемника. Поскольку они подробно не определены, ухудшение маски глаз-диаграммы не является точной мерой ухудшения работы приемника. Однако это соответствие обычно является достаточно хорошим, поскольку большинство вариантов реализации приемников в значительной степени соответствуют фильтру, используемому в ходе измерений маски глаз-диаграммы.

А.4 Чувствительность приемника

Ухудшение коэффициента контрастности и маски глаз-диаграммы суммируется и выражается в дБ. Например, если ухудшение ЕХ составляет 1,3 дБ, а ухудшение маски глаз-диаграммы составляет 3 дБ, то в наихудшем случае сигнал покажет снижение чувствительности приемника на 4,3 дБ относительно чувствительности при идеальном передатчике.

Согласно определению чувствительности приемника, она должна измеряться в наихудших условиях. Если этого не выполняется, то корректировку чувствительности приемника, измеренной при слишком мягких условиях, можно оценить на основании ЕХ и относительного раскрытия глаз-диаграммы измерительного передатчика. Эта оценка может быть более предпочтительной, чем результаты измерений с сигналом для наихудшего случая, который может быть очень трудно создать.

Дополнение I

Дисперсия моды поляризации

I.1 Статистическое распределение дисперсии моды поляризации (PMD)

Как описано в п. 6.3.2.3, дифференциальное групповое время задержки (ДГВЗ) между различными состояниями поляризации в волокне, не сохраняющем поляризацию проходящего излучения, является случайной переменной. Часто предполагается, что она подчиняется распределению Максвелла со следующей функцией плотности вероятности:

$$f(\Delta\tau) = 32 \frac{\Delta\tau^2}{\pi^2 \langle \Delta\tau \rangle^3} \exp\left(-\frac{4\Delta\tau^2}{\pi \langle \Delta\tau \rangle^2}\right),$$

где $\Delta\tau$ – ДГВЗ, а $\langle \Delta\tau \rangle$ – его среднее значение. На рисунке I.1 показана функция плотности вероятности $f(\Delta\tau)$. Однако в данный момент времени системе присуще конкретное значение ДГВЗ (τ), которое является некоторым значением случайного распределения ДГВЗ, среднее из которых определяется средним значением PMD линии. Импульсы задерживаются на различное время, которое больше или меньше среднего значения PMD в линии.

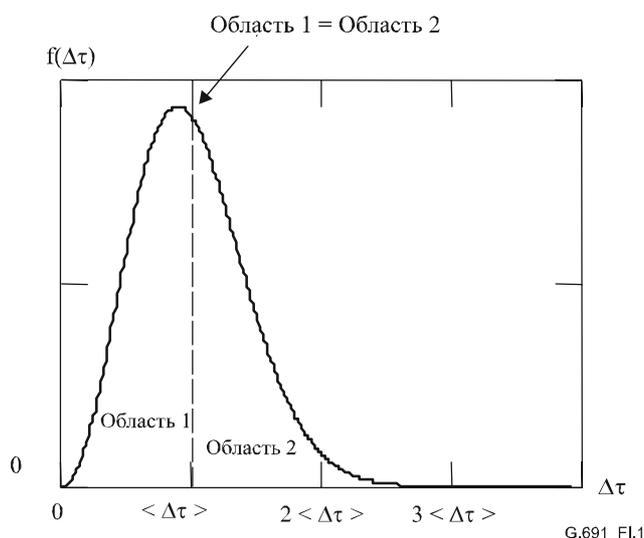


Рисунок I.1/G.691 – Функция распределения Максвелла (иллюстрация) – Функция плотности вероятности $f(\Delta\tau)$ в зависимости от дифференциальной групповой задержки, $\Delta\tau$

Интегрируя эту функцию плотности вероятности от $\Delta\tau_1$ до $+\infty$, получим вероятность $P(\Delta\tau \geq \Delta\tau_1)$:

$$P(\Delta\tau \geq \Delta\tau_1) = \int_{\Delta\tau_1}^{\infty} f(\Delta\tau) d(\Delta\tau).$$

Эта вероятность $P(\Delta\tau \geq \Delta\tau_1)$ показана на рисунке I.2.

Например, если ДГВЗ более чем втрое превышает среднее значение ДГВЗ, $\Delta\tau_1 = 3 \langle \Delta\tau \rangle$, то на рисунке I.2 можно увидеть, что $P(\Delta\tau \geq 3 \langle \Delta\tau \rangle) \approx 4 \times 10^{-5}$.

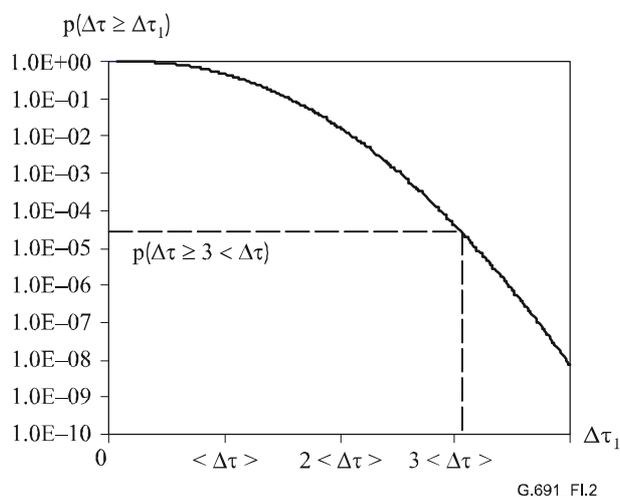


Рисунок I.2/G.691 – Вероятность $P(\Delta\tau \geq \Delta\tau_1)$

Изменения ДГВЗ зависят от состояний поляризации, создаваемых в кабеле, натяжения различных участков кабеля, изменений температуры и т. д., и поэтому ДГВЗ меняется довольно медленно. Учитывая, что для существенного изменения ДГВЗ требуются примерно сутки, приведенная выше вероятность соответствует периоду примерно 70 лет, для того чтобы PMD увеличилась втрое относительно среднего значения.

Однако характеристическое время изменений PMD сильно зависит от условий работы кабеля, и, например, время изменений у воздушных (подвесных) кабелей намного меньше. Если предположить, что характеристическое время составляет одну минуту, то PMD будет втрое превышать свое среднее значение примерно раз в 17 дней.

"Время прерывания связи", в течение которого потери на пути передачи из-за PMD очень высоки, также зависит от характеристического времени, т. е. для двух вышеприведенных примеров оно составит соответственно один день и одну минуту.

I.2 Потери на пути передачи из-за PMD

Поскольку дисперсия моды поляризации (PMD) – это свойство кабеля, в настоящей Рекомендации она не может быть определена, то считается, что суммарное значение PMD в линии соответствует наихудшей величине потерь на трассе передачи = 1 дБ. Наихудшим случаем является ситуация, в которой ДГВЗ = 0,3 периода бита, при условии, что в обоих основных состояниях поляризации (PSP) передается одна и та же оптическая мощность.

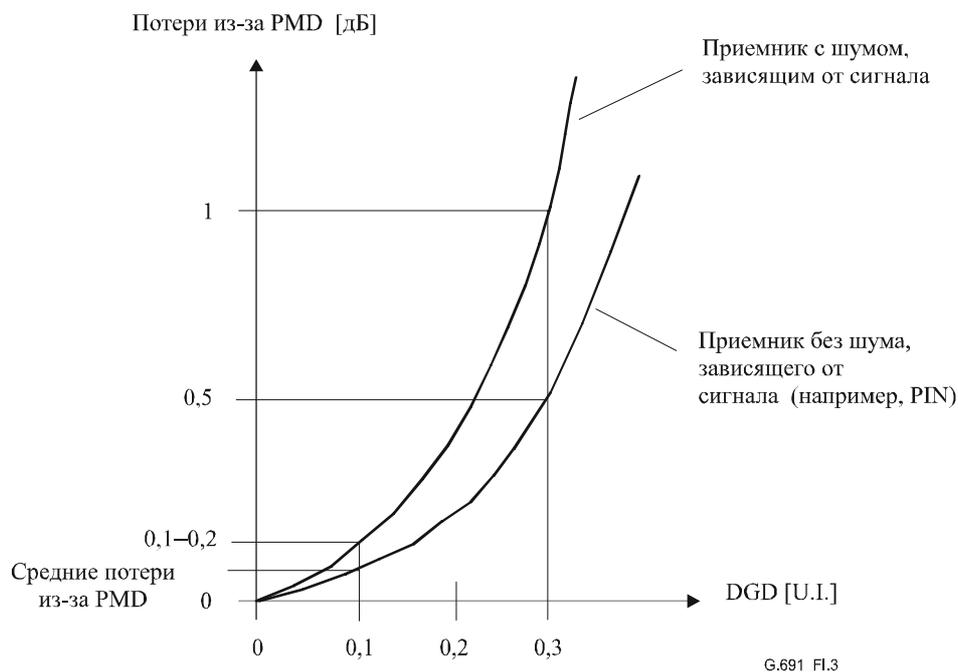


Рисунок I.3/G.691 – Зависимость ухудшения качества работы приемника от реальных значений ДГВЗ (иллюстрация)

Предполагается, что ДГВЗ подчиняется распределению Максвелла (см. рисунок I.1). Связь между ДГВЗ (точное совпадение с увеличением ширины импульса сигнала, возбужденным дисперсией моды поляризации, если предполагается, что в обоих PSP передается одна и та же оптическая мощность) и соответствующими потерями на трассе передачи, – это характеристика приемника, она показана на рисунке I.3. Принимая реалистичные предположения и предполагая, что используется качественный приемник, можно сделать вывод о том, что при реальной ДГВЗ = 0,3 периода бита (по 50% оптической мощности в каждом PSP) для приемника, в котором шум не зависит от сигнала (PIN-приемник), получим ухудшение примерно на 0,5 дБ, а для приемника, в котором шум зависит от сигнала (с APD или предусилителем) получим ухудшение, достигающее 1 дБ.

Соответствующее допустимое максимальное значение PMD волокна зависит от нескольких показателей, в частности:

- статистическое распределение ДГВЗ;
- допустимая вероятность того, что ухудшение может превысить 0,5 дБ (PIN) или 1 дБ (например, APD);
- корреляция между пространственными флуктуациями основных состояний поляризации (PSP) и флуктуациями ДГВЗ;
- ориентация состояния поляризации на входе (SOP) света, излучаемого лазером передатчика, относительно ориентации PSP.

Реальная корреляция между допустимым максимальным значением PMD и максимальным расширением импульса сигнала требует дальнейшего изучения. Первая оценка может быть получена из следующего иллюстративного примера: Максимальная PMD = 0,1 периода бита соответствует вероятности того, что потери на трассе передачи будут превышать 1 дБ, составляет 4×10^{-5} (см. рисунки I.2 и I.3). Однако в этом примере для потерь на трассе передачи >1 дБ ожидается наличие вероятности много меньшей, чем 4×10^{-5} , по следующей причине: когда меняется ДГВЗ (например, из-за изменения натяжения или температуры) то, как правило, меняется также и пространственная ориентация PSP. Следовательно, изменится и ориентация SOP света, излучаемого лазером передатчика, относительно ориентации основных состояний поляризации (PSP). Следовательно, пространственно флуктуирующие PSP, как правило, не будут переносить сигнал с одинаковыми значениями оптической мощности, что приведет к меньшим потерям в приемнике (поскольку вероятность, равная 4×10^{-5} , соответствует предположению о равной мощности в обоих PSP). Наоборот, вполне вероятно, что допустимая вероятность, равная 4×10^{-5} для потерь на трассе передачи >1 дБ, позволит получить максимальную PMD, которая будет больше, чем 0,1 периода бита.

Дополнение II

Описание ФАМ как метода адаптации к дисперсии

II.1 Основы ФАМ

При использовании высокомоощных передатчиков, как, например, в системах дальней связи без ретрансляторов, важную роль в определении качества передачи играют нелинейные процессы, такие как фазовая автомодуляция (ФАМ). В системах с модуляцией интенсивности светового потока при больших мощностях передатчика вводится модуляция индекса рефракции оптического кабеля, приводящая к увеличению разницы индексов рефракции для символа "1" по сравнению с "0" в битах. Модуляция индекса рефракции за счет изменения уровней мощности называется электрооптическим эффектом Керра.

Изменение оптической интенсивности данного импульса модулирует индекс рефракции волокна, что, в свою очередь, приводит к модуляции фазы оптической волны. Этот процесс известен как фазовая автомодуляция (ФАМ). Временная производная фазы есть частота, и оптический сигнал будет испытывать асимметричную девиацию частоты относительно средней точки, так что спектральные составляющие на переднем фронте импульса будут сдвинуты по частоте вниз – в сторону красного участка спектра, а спектральные составляющие на заднем фронте импульса будут сдвинуты по частоте вверх – в сторону синего участка спектра.

В волокне G.652 для сигнала с длиной волны 1550 нм, компоненты, сдвинутые в сторону красного участка спектра, будут передаваться медленнее, тогда как компоненты, сдвинутые в сторону синего участка спектра, будут передаваться быстрее. Следовательно, скорость распространения спектральных составляющих задней части импульса быстрее, чем у спектральных составляющих фронтальной части импульса. Это приводит к уменьшению чистого влияния хроматической дисперсии, или к компрессии импульса, и задержит появление ограничения дальности передачи из-за хроматической дисперсии.

Максимальный сдвиг фазы, вносимый ФАМ, пропорционален оптической мощности, создаваемой передатчиком, и обратно пропорционален коэффициенту ослабления и эффективному сечению кабеля передачи.

II.2 Применение фазовой автомодуляции в качестве метода адаптации к дисперсии

Компрессия импульса, достигаемая в результате ФАМ, противостоит расширению импульсов, вызываемому дисперсией в кабеле. Следовательно, ФАМ может использоваться для адаптации к дисперсии (DA). ФАМ, используемая как метод адаптации к дисперсии, зависит от следующих параметров: выходная мощность передатчика, коэффициент ослабления кабеля, площадь сечения кабеля, коэффициент нелинейности кабеля, длина волны передатчика, предварительная линейная частотная модуляция передатчика и хроматическая дисперсия кабеля.

В системах со скоростями 10 Гбит/с, требуемыми расстояниями 80 км и кабелями без сдвига дисперсии, ФАМ может использоваться в качестве метода адаптации к дисперсии, если выходная мощность передатчика не превышает +17 дБм, а в кабелях со сдвигом дисперсии, если выходная мощность передатчика не превышает +13 дБм и ухудшение менее 1,5 дБ.

II.3 Порог ФАМ

Существует верхний предел для выходной мощности передатчика. Этот предел определяется пороговым значением ФАМ. Уровень мощности, соответствующий порогу ФАМ, определяется как мощность передатчика, для которой передний и задний фронты импульса совпадают. Если мощность передатчика превышает пороговый уровень ФАМ, то это приводит к резкому возрастанию потерь.

Главными параметрами для определения уровня мощности, соответствующего порогу ФАМ, являются время нарастания и спада, а также коэффициент потерь. Оба параметра используются для регулировки временной производной от оптической мощности и, следовательно, ФАМ. Другие параметры (например, коэффициент ослабления кабеля, площадь сечения кабеля и т. д.) оказывают меньшее влияние на уровень мощности, соответствующий порогу, чем вышеуказанные параметры.

II.4 Значения оптических параметров для приложений

В соответствии с принципами ФАМ для систем STM-64, требуется более точное описание спектральных характеристик, чем просто значение ширины спектра передаваемого оптического сигнала. Наиболее важным дополнительным параметром является линейная частотная модуляция источника, которая, в большинстве случаев, для источников с прямой модуляцией описывается параметром α . Следует отметить, что, если это значение определено в спецификации, то оно должно выполняться не только при работе с малыми сигналами, но также и при работе с большими сигналами в нелинейном оптическом режиме работы кабеля.

Существует несколько методов измерения этого параметра. Однако наиболее простой метод состоит в том, чтобы измерить характеристику передачи вместе с соответствующим оптическим путем. Это означает, что, в принципе, нет необходимости определять этот параметр в спецификации, но необходимо определить таблицу, в которой были бы указаны параметры приемника и передатчика вместе с параметрами пути. Это означает, что спектральные характеристики передатчика будут определены косвенно вместе с чувствительностью приемника и характеристиками пути, в данном случае это – дисперсия и ослабление на трассе передачи.

II.5 Тип источника

Оптическим источником L и V сигналов со скоростью 10 Гбит/с и модуляцией интенсивности светового потока, как правило, является лазер с непрямой модуляцией, в котором могут использоваться модуляторы Маха-Цендера или электроабсорбционный. Как правило, для получения необходимого уровня мощности используется линейный усилитель, объединенный с оптическим передатчиком. Однако объектом стандартизации является не вариант реализации, а параметры, которые приведены в таблицах 4 и 5. Кроме этих значений для достижения полной совместимости требуется еще определение маски глаз-диаграммы.

II.6 Маска глаз-диаграммы

Общая характеристика формы импульса передатчика, включая время нарастания и спада, а также выбросы и провалы на фронтах импульсов, которые должны регулироваться для предотвращения ухудшения качества передачи, должны быть определены в спецификации в виде маски глаз-диаграммы.

II.7 Приемник

Для систем с модуляцией интенсивности светового потока, может использоваться приемник прямого детектирования. Однако реализация не является объектом стандартизации. Требуемые значения чувствительности и отражений приведены в таблицах 4 и 5.

Дополнение III

Адаптация к дисперсии при помощи DST

III.1 Введение

Передача с поддержкой дисперсии (DST) – это активный метод адаптации к дисперсии (DA). Передатчик создает оптический сигнал, который содержит соответствующую модуляцию оптической частоты. Хроматическая дисперсия кабеля передачи используется для преобразования оптической модуляции в модуляцию интенсивности светового потока на приемнике. Используя эти эффекты, можно вести передачу с превышением типичного предела дисперсии (для обычной АМн с идеальным спектром источника с ограниченными изменениями). В настоящем Дополнении приводится информативное описание метода DST, а также параметры системы DST и их значения.

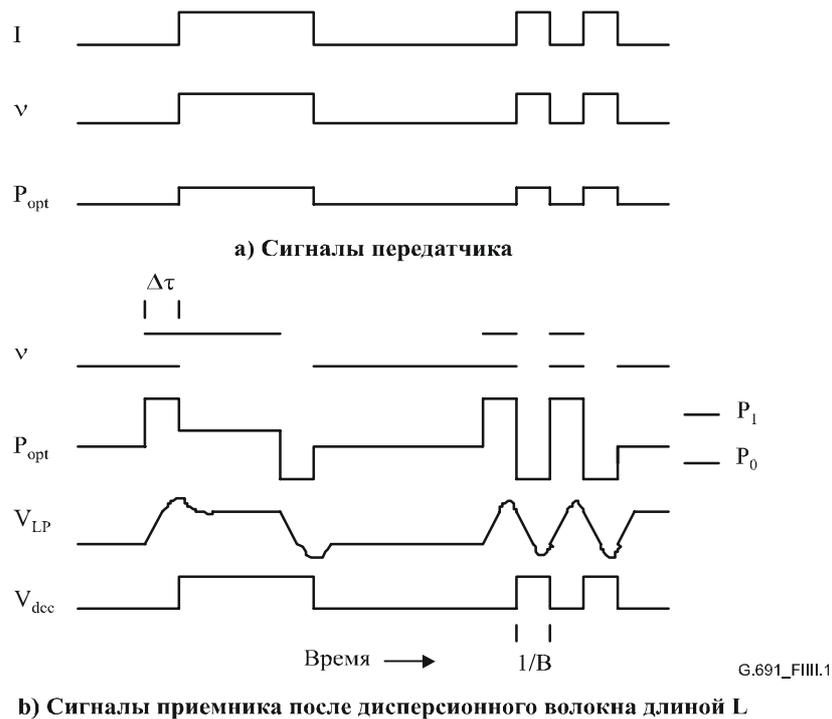
III.2 Принципы метода DST

Оптический передатчик создает оптический АМн/ЧМн (или чисто оптический ЧМн) выходной сигнал в новой схеме передачи. Для преобразования ЧМн сигнала на стороне передатчика в АМн сигнал на стороне приемника используется дисперсионный фильтр. После чего оптический приемник детектирует полный АМн сигнал.

Под действием входящего бинарного сигнала оптическая частота ν переключается между двумя значениями, разнесенными на расстояние $\Delta\nu$, соответствующее сдвигу длины волны: $\Delta\lambda = \Delta\nu\lambda^2/c$. Благодаря дисперсии волокна, различные компоненты сигнала с различными длинами волны прибывают на выход кабеля длиной L в различное время. Разница во времени $\Delta\tau$ равна $\Delta\tau = \Delta\lambda D L$. На стороне приемника создается 3-х или 4-х уровневый сигнал. Исходный сигнал может быть восстановлен при помощи:

- a) фильтра нижних частот и схемы принятия решения с одним-единственным порогом;
- b) двухпорогового детектирования с порогами P_1 и P_0 и запоминающими устройствами.

На рисунке III.1 показан принцип "передачи с поддержкой дисперсии" для сигналов передатчика a) и приемника b), где I – входной сигнал передатчика, ν – оптическая частота, P_{opt} – уровень входной оптической мощности, V_{LP} – напряжение на выходе фильтра нижних частот (LP) и V_{dec} – напряжение на выходе схемы принятия решения.



**Рисунок III.1/G.691 – Принцип передачи с поддержкой дисперсии;
оптическая АМн/ЧМн передача**

Принцип DST можно также описать с помощью анализа малых сигналов в частотной области: адиабатическая линейная частотная модуляция (модуляция оптических частот) передаваемого оптического сигнала в сочетании с влиянием хроматической дисперсии в волокне приводит к тому, что характеристики приемника становятся подобными характеристиками высокочастотной передачи для низких частот. Эта характеристика может быть скорректирована в электрической области, например, при помощи установки в приемнике фильтра нижних частот ("фильтр DST").

III.3 Маска глаз-диаграммы оптического приемника после дисперсионного кабеля

В отличие от 2-уровневой глаз-диаграммы для чистого оптического АМн сигнала приемника, чистый оптический ЧМн сигнал показывает 3-уровневую глаз-диаграмму приемника, а совместный АМн/ЧМн сигнал показывает 4-уровневую глаз-диаграмму приемника после передачи по дисперсионному кабелю, как показано на рисунках III.2 а) и б), соответственно.

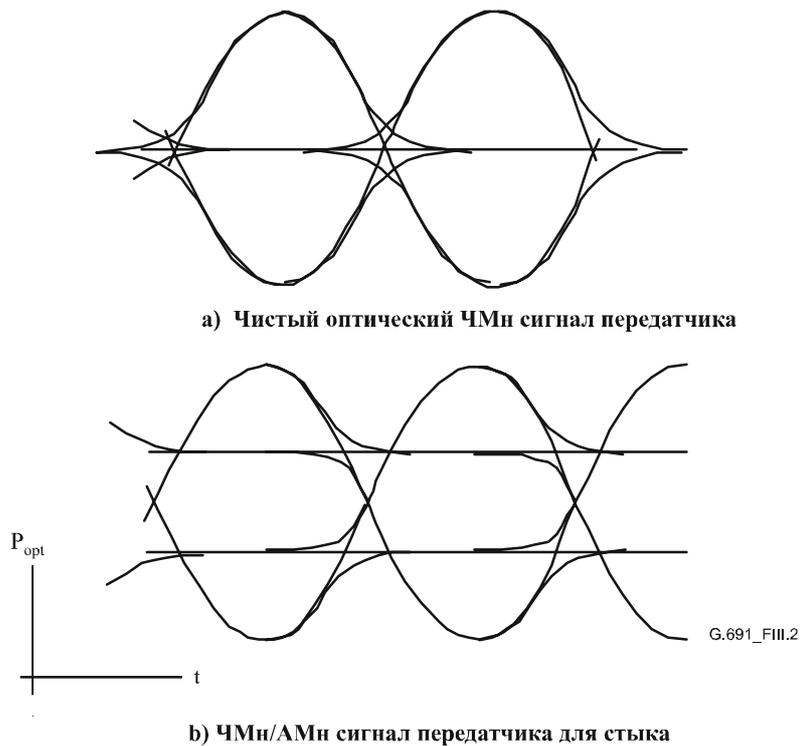


Рисунок 3.2/G.691 – Глаз-диаграммы приемника после дисперсионного кабеля

3.4 Определения параметров

Здесь определяются только параметры, которые нигде, кроме DST, не определены или требуют пояснений. Другие параметры определены в разделе 6 и полностью применимы к методу DST, если в настоящем параграфе им не дано иного определения.

3.4.1 Передатчик в контрольной точке MPI-S

3.4.1.1 Девиация частоты

Девиация частоты используется для обеспечения наличия в передаваемом сигнале требуемой степени модуляции оптической частоты для данной дальности передачи.

Девиация частоты $\Delta\nu$ передаваемого оптического сигнала в контрольной точке MPI-S определяется выражением $\Delta\nu = \nu_1 - \nu_0$, где ν_1 – оптическая частота ν во время передачи символа логической "1" (соответствующая также высокому уровню оптической мощности), а ν_0 – оптическая частота время передачи символа логического "0" (соответствующая также низкому уровню оптической мощности).

3.4.1.1.1 Метод измерения

Может использоваться измерительная установка, описанная в Дополнении IV. Значения переменных $V^+(t)$ и $V^-(t)$ оцениваются, как описано в Дополнении IV. Линейная частотная модуляция с временным разрешением $\nu_c(t) = \nu(t) - \nu_r$ определяется выражением:

$$v_c(t) = (2\pi)^{-1} FSR \arcsin \left(\frac{V^-(t)}{V^+(t)} \right)$$

$v_c(t)$ рассчитывается и отображается вместе с $P(t)$, сравните с рисунком IV.4.

$v_1 - v_r$ оценивается по графику $v_c(t)$ в центре третьего бита байта A1 (11110110).

$v_{\tilde{0}} - v_r$ оценивается по графику $v_c(t)$ в центре последнего бита байта A2 (00101000).

Девияция частоты оценивается из выражения $\Delta v = v_1 - v_{\tilde{0}} = (v_1 - v_r) - (v_{\tilde{0}} - v_r)$.

(Альтернативная оценка девиации частоты с применением измерительного шаблона, показанного на рисунке II.1/G.957, требует дальнейшего изучения.)

III.4.1.2 Маска глаз-диаграммы передатчика

Для чистых систем IM маска глаз-диаграммы передатчика используется для определения характеристик формы импульса передатчика и их ухудшения. Поскольку для передачи информации системы DST используют и модуляцию интенсивности светового потока, и частотную модуляцию, то для определения характеристик сигнала оптического передатчика в контрольной точке MPI-S используется два метода измерения маски глаз-диаграммы.

III.4.1.2.1 Маска глаз-диаграммы для систем IM

Спецификация маски глаз-диаграммы для систем с модуляцией интенсивности светового потока (IM) определяет часть сигнала, подвергаемую модуляции интенсивности светового потока, и она идентична определению и способу использования маски глаз-диаграммы IM, описанным в п. 6.2.4. Значения маски глаз-диаграммы IM, определенные в п. 6.2.4, рисунок 2, приводятся в таблице III.1:

Таблица III.1/G.691 – Значения маски глаз-диаграммы IM для систем DST

Маска глаз-диаграммы IM (DST) для STM-64	
x_1/x_4	–
x_2/x_3	–
$x_3 - x_2$	0,2
y_1/y_2	0,3/0,6

III.4.1.2.2 Маска глаз-диаграммы для систем FM/IM

Маска глаз-диаграммы для систем FM/IM имеет соответствующую функцию для частотной модуляции, используемую для противостояния дисперсии в линии. Для того чтобы отразить также и ЧМ часть сигнала, измерения параметров маски включают в себя определенное в спецификации преобразование FM – IM и соответствующую частотную характеристику контрольного приемника измерительной установки для маски глаз-диаграммы. Измерительная установка для маски глаз-диаграммы FM/IM описывается далее.

Эта измерительная установка аналогична измерительной установке, показанной на рисунке B.1/G.957. Дополнительно, эта новая измерительная установка содержит:

- i) дисперсионный элемент, хроматическая дисперсия которого эквивалентна дисперсии кабеля определенной длины в соответствии с Рек. МСЭ-Т G.652;
- ii) оптический предусилитель для компенсации затухания, вносимого дисперсионным элементом.

Дополнительно оборудование, указанное в i) и ii), располагается между измеряемым передатчиком и оптическим входом контрольного приемника. Передаточная функция $H(p)$ оптического контрольного приемника определяется следующим выражением (см. рисунок B.2/G.957):

$$H(p) = \frac{U_0}{2U_2}$$

Для измерения маски глаз-диаграммы FM/IM используется следующая передаточная функция контрольного приемника:

$$H = H_B \cdot H_D,$$

где H_B – характеристика Бесселя-Томсона четвертого порядка, в соответствии с Приложением В/G.957, а H_D – фильтр низких частот первого порядка, определяемый как:

$$H_D = \left(1 + j \frac{f}{f_g}\right)^{-1} = \left(1 + \frac{f_r}{f_g} p\right)^{-1} = \left(1 + 0,75 \frac{f_0}{f_g} p\right)^{-1} = \left(1 + \frac{0,75}{2,114} \frac{f_0}{f_g} y\right)^{-1},$$

где:

$$p = j \frac{\omega}{\omega_r}, y = 2,114 p, \omega_r = 1,5\pi f_0, f_0 = \text{скорость передачи}, f_r = 0,75 f_0$$

с частотой среза f_g .

Этот фильтр можно реализовать аппаратно. В качестве альтернативы предлагается программная реализация фильтра, например, РС или анализатор глаз-диаграммы. Этот вопрос требует дальнейшего изучения.

Характеристические значения дисперсионного элемента, хроматическая дисперсия которого эквивалентна дисперсии кабеля определенной длины в соответствии с Рек. МСЭ-Т G.652, и частота среза фильтра приемника f_g , используемая в измерительной установке, приводятся в таблице III.2:

Таблица III.2/G.691 – Значения параметров фильтра DST

	Единицы измерений	DST L-64.2/1	DST L-64.2/2	DST V-64.2
Частота среза фильтра	МГц	2 500	2 500	1 400
Эквивалентная длина кабеля (Рек. МСЭ-Т G.652)	км	80	80	120

После такого преобразования сигнала на дисперсионном элементе и введения модифицированной частотной характеристики контрольного приемника для измерения маски глаз-диаграммы, определение и процедура измерений становятся идентичными определению и использованию глаз-диаграммы IM, описанным в п. 6.2.4.

Значения маски глаз-диаграммы FM/IM приводятся в таблице III.3:

Таблица III.3/G.691 – Значения маски глаз-диаграммы FM/IM для систем DST

STM-64 FM/IM eye mask (DST)	
x_1/x_4	–
x_2/x_3	–
$x_3 - x_2$	0,2
y_1/y_2	0,3/0,6

III.4.2 Приемник в контрольной точке MPI-R

III.4.2.1 Минимальная чувствительность

Чувствительность приемника определяется как минимально допустимое значение средней принимаемой мощности в точке MPI-R для достижения КОБ = 1×10^{-12} . В системах с DST определение чувствительности приемника учитывает дисперсионный элемент между точками MPI-S и MPI-R. Хроматическая дисперсия этого дисперсионного элемента равна минимальной хроматической дисперсии, определенной для рассматриваемого требуемого расстояния, а значения приводятся в таблице III.4. Все другие требования к чувствительности приемника, указанные в п. 6.4.1, также применимы для приемника DST.

В основном тексте настоящей Рекомендации не приводятся подробные данные о варианте реализации приемника, как, например, спецификация передаточной функции конкретного фильтра. В Приложении В/G.957 показаны стандартные параметры передаточной характеристики фильтра в измерительной установке для маски глаз-диаграммы передатчика. Это не означает, что оптический приемник в системе передачи имеет ту же передаточную характеристику фильтра.

Та же самая стратегия относится и к системам DST: стандартизованы только передаточные функции контрольных приемников для измерения маски глаз-диаграммы передатчика. Передаточная функция фильтра в оптическом приемнике системы передачи не является предметом стандартизации. В приемнике может применяться фильтр низких частот; однако может использоваться и иной подход, основанный на специализированной схеме принятия решений, способной детектировать многоуровневые глаз-диаграммы.

III.4.2.2 Максимальные потери оптического пути

Определение потерь на трассе передачи дано в п. 6.4.3. Это определение применимо также к системам DST, учитывая приведенное выше определение чувствительности приемника для систем DST.

III.5 Значения оптических параметров

Значения оптических параметров приводятся в таблице III.4.

Таблица III.4/G.691 – Значения параметров для оптических интерфейсов STM-64, использующих DST

Код приложения	Единицы измерений	DST L-64.2/1	DST L-64.2/2	DST V-64.2
Передатчик в контрольной точке MPI-S				
Рабочий диапазон длин волн	нм	1 530–1 565	1 530–1 565	1 530–1 565
Средняя излучаемая мощность				
– максимальная	дБм	3	13	17
– минимальная	дБм	0	10	14
Спектральные характеристики				
– максимальный параметр линейной частотной модуляции α	рад	3,5	3,5	3,5
– максимальная девиация частоты	ГГц	8	8	6
– минимальная девиация частоты	ГГц	7	7	5
– максимальная спектральная плотность мощности	мВт/МГц	0,02	0,02	0,02
– минимальный коэффициент подавления боковой моды	дБ	35	35	35
Минимальный коэффициент потерь	дБ	3	3	2
Основной оптический путь, MPI-S – MPI-R				
Диапазон ослабления				
– максимальное	дБ	22	22	33
– минимальное	дБ	11	16	22
Хроматическая дисперсия				
– максимальная	пс/нм	1 600	1 600	2 400
– минимальная	пс/нм	800	800	1 600
Пассивная компенсация дисперсии				
– максимальная	пс/нм	NA	NA	NA
– минимальная	пс/нм	NA	NA	NA

Таблица III.4/G.691 – Значения параметров для оптических интерфейсов STM-64, использующих DST

Код приложения	Единицы измерений	DST L-64.2/1	DST L-64.2/2	DST V-64.2
Максимальная ДГВЗ	пс	30	30	30
Минимальные оптические потери на отражение кабеля в точке MPI-S, включая все соединительные элементы	дБ	24	24	24
Максимальное дискретное отражение между точками MPI-S и MPI-R	дБ	-27	-27	-27
Приемник в контрольной точке MPI-R				
Минимальная чувствительность	дБм	-24	-14	-21
Минимальная перегрузка	дБм	-8	-3	-5
Максимальные потери оптического пути	дБ	2	2	2
Максимальное отражение приемника, измеренное в точке MPI-R	дБ	-27	-27	-27

Дополнение IV

Измерение параметра линейной частотной модуляции α оптического передаваемого сигнала

Метод измерения параметра линейной частотной модуляции α основан на прямых измерениях мощности и девиации частоты оптического передаваемого сигнала во временной области.

IV.1 Измерительная установка

Рекомендуемая измерительная установка для измерения параметра линейной частотной модуляции содержит двулучевой оптический интерферометр (например, интерферометр Михельсона или интерферометр Мака-Зельдмана), широкополосный оптический конвертор и широкополосный цифровой осциллограф, см. рисунок IV.1.

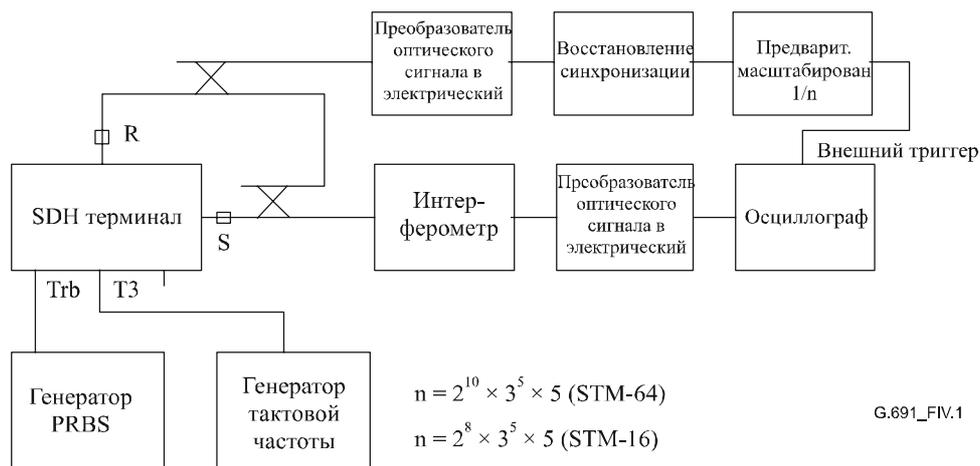


Рисунок IV.1/G.691 – Измерительная установка

Выход оптического передатчика соединяется в контрольной точке S с двулучевым интерферометром. Выход интерферометра соединяется с оптическим конвертора, и электрический сигнал с выхода конвертора записывается широкополосным цифровым осциллографом. Осциллограф включается сигналом кадровой синхронизации, создаваемым тактовым генератором, восстанавливающим его из оптического принятого сигнала.

Для того чтобы во время измерений передатчик был всегда включен, часть светового сигнала интерферометра подается на оптический приемный порт передающего оборудования. Генератор псевдослучайной бинарной последовательности (PRBS) $2^{23}-1$ соединяется с вспомогательными портами, которые сконфигурированы в виде цепи обратной связи.

IV.2 Технические требования к измерительной аппаратуре

Двулучевой интерферометр

Область дисперсии (FSR): как минимум вчетверо больше, чем линейная частотная модуляция передатчика.

Передатчик

Сдвиг длины волны: Регулируемый. Диапазон должен быть больше или равен области дисперсии интерферометра.

Двулучевой интерферометр должен иметь управляющую цепь, которая подает входящий сигнал на интерферометр. Эта цепь управления должна позволять соединять интерферометр с входным сигналом в квадратурной точке А, а также в квадратурной точке В, см. рисунок IV.2.

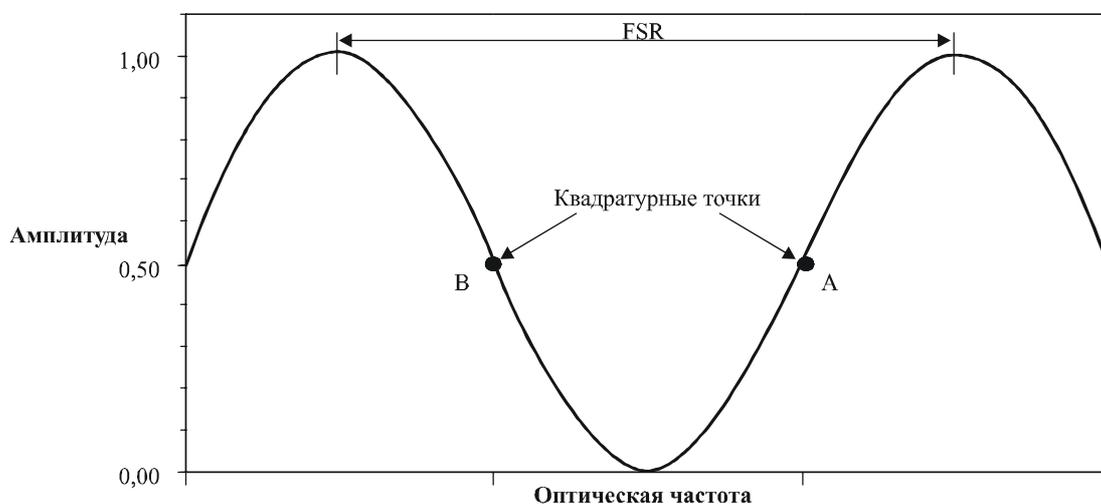


Рисунок IV.2/G.691 – Схематический чертеж передаточной функции двулучевого интерферометра, на котором показаны квадратурные точки А и В и определена область дисперсии

Комбинированная частотная характеристика оптического конвертора и осциллографа

Нижняя частота среза по уровню -3 дБ: <100 кГц

Верхняя частота среза по уровню -3 дБ: >20 ГГц

Осциллограф должен обладать возможностью хранения, как минимум, четырех характеристик и должен иметь возможность выполнять сложные математические преобразования характеристик или иметь возможность передать данные об измеренных характеристиках в компьютер для дальнейшей обработки.

IV.3 Калибровка

Область дисперсии интерферометра определяется задержкой t_d , относящейся к двум оптическим путям внутри интерферометра:

$$FSR = \frac{1}{t_d}.$$

Величина t_d может быть измерена либо непосредственно с определением по осциллографу разницы во времени прибытия данных каждого луча, либо косвенно с применением градуированной шкалы и вычисления времени задержки. Значение FSR также можно найти, измерив передаточную функцию

интерферометра с применением анализатора световых компонентов. Первый ноль передаточной функции появляется на частоте $= FSR/2$.

В ходе точной настройки FSR квадратурная точка интерферометра регулируется так, чтобы она соответствовала длине волны передатчика. Точное положение определяется в ходе контроля на интерферометре средней мощности сигнала передатчика СЦИ, зависящей от настройки FSR. Квадратурная точка – это позиция, в которой средняя мощность, проходящая через интерферометр, находится посередине между максимальной и минимальной мощностями, отложенными по линейной шкале. Интерферометр должен быть синхронизирован с сигналом передатчика по этой точке.

IV.4 Процедура измерений

- 1) Расположите оборудование, как показано на рисунке IV.1 введите достаточное ослабление в сигнал приемника во избежание перегрузки.
- 2) Сконфигурируйте вспомогательный вход передатчика, создав петлю обратной связи и присоедините генератор PRBS к первому вспомогательному входу.
- 3) Синхронизируйте передатчик с восстановленным сигналом тактовой частоты при помощи настройки источника тактовой частоты по суммарному сигналу вход внешнего синхрогенератора).
- 4) Откалибруйте двулучевой интерферометр в соответствии с п. IV.3. Синхронизируйте интерферометр по квадратурной точке А.
- 5) Отрегулируйте временную задержку на цифровом осциллографе так, чтобы на экране появились кадровые синхробайты А1 А2 заголовка СЦИ. Запишите характеристику перехода от байта А1 к байту А2 (из 11110110 в 00101000) и сохраните эту характеристику как $V_A(t)$.
- 6) Синхронизируйте интерферометр по квадратурной точке В.
- 7) Сохраните характеристику данных на осциллографе как $V_B(t)$.

IV.5 Обработка данных

Параметр линейной частотной модуляции определяется суммой и разностью между $V_A(t)$ и $V_B(t)$. Следовательно, переменные $V^+(t)$ и $V^-(t)$ определяются следующим образом:

$$V^+(t) = \frac{V_A(t) + V_B(t)}{2},$$

$$V^-(t) = \frac{V_A(t) - V_B(t)}{2}.$$

Изменение во времени интенсивности светового потока $P(t)$ передатчика пропорционально $V^+(t)$. Параметр линейной частотной модуляции вычисляется следующим образом:

$$\alpha(t) = 2 \times FSR \times \frac{V^-(t) \times \arcsin \frac{V^-(t)}{V^+(t)}}{\frac{\partial V^+(t)}{\partial t}}.$$

$P(t)$ и $\alpha(t)$ вычисляются и отображаются на одном графике. Параметр линейной частотной модуляции передатчика определяется как значение $\alpha(t)$, вычисленное в момент времени, когда интенсивность светового потока $P(t)$ находится посередине между уровнями, соответствующими символам данных "0" и "1".

IV.6 Примеры и интерпретация полученных данных

На рисунке IV.3 показан пример результатов измерений двух характеристик $V_A(t)$ и $V_B(t)$, измеренных на сигнале PRBS со скоростью 10 Гбит/с.

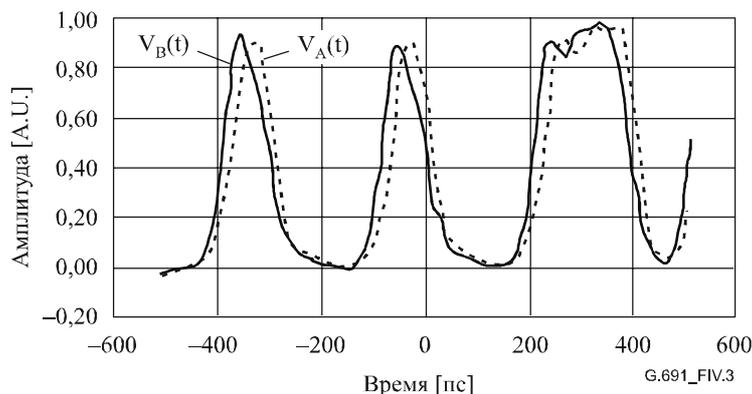


Рисунок IV.3/G.691 – Характеристики данных сигнала PRBS со 10 Гбит/с, измеренные при помощи интерферометра, настроенного на квадратурные точки А и В, соответственно

На рисунке IV.4 показан график результатов расчета $P(t)$ и $\alpha(t)$, описанного в п. IV.5.

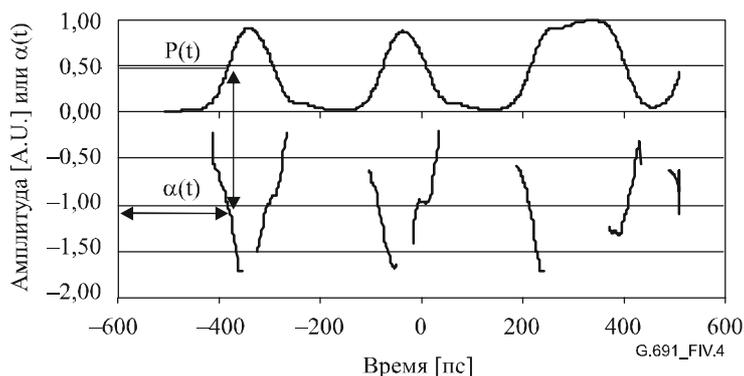


Рисунок IV.4/G.691 – График результатов расчета $P(t)$ и $\alpha(t)$; Стрелки указывают, как найти параметр линейной частотной модуляции

Параметр линейной частотной модуляции можно рассчитать по передним и задним фронтам импульсов данных. На рисунке IV.4 показано определение параметра линейной частотной модуляции для первого переднего фронта импульсов сигнала. Параметр линейной частотной модуляции слегка меняется в зависимости от положения импульса. Минимальная и максимальная величины параметра линейной частотной модуляции в шаблоне должна находиться в пределах, определенных спецификацией для данной системы.

Вопрос в том, как параметр линейной частотной модуляции влияет на качественные характеристики системы, требует дальнейшего изучения. Способ расчета параметра линейной частотной модуляции – по передним и задним фронтам, или как средней величины, или как значения для наихудшего случая, также требует дальнейшего изучения.

Дополнение V

Возможности модернизации

Примером модернизации для увеличения скорости передачи является модернизация одноканальной системы STM-16 с канальными усилителями в систему STM-64. Трасса STM-16 длиной 640 км с регенераторами и семью канальными усилителями, например, может быть модернизирована до STM-64 путем замены канального усилителя в середине с установкой регенератора, тогда как остальные канальные усилители и область их работы останется неизменной. Эта модернизация показана на рисунке V.1.

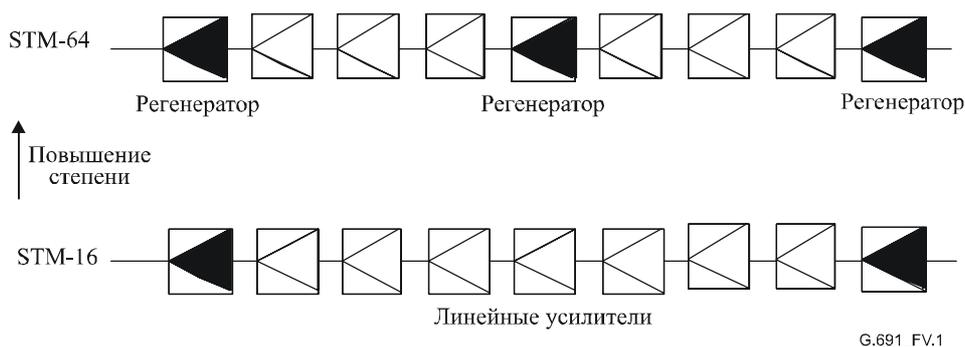


Рисунок V.1/G.691 – Пример модернизации системы STM-16 до уровня STM-64

Модернизация систем STM-4 до уровня STM-16 не будет иметь практического значения, поскольку системы STM-4 с канальными усилителями не будут экономически выгодными, пока не будет существенно снижена цена канального усилителя.

СЕРИИ РЕКОМЕНДАЦИЙ МСЭ-Т

Серия А	Организация работы МСЭ-Т
Серия D	Общие принципы тарификации
Серия E	Общая эксплуатация сети, телефонная служба, функционирование служб и человеческие факторы
Серия F	Нетелефонные службы электросвязи
Серия G	Системы и среда передачи, цифровые системы и сети
Серия H	Аудиовизуальные и мультимедийные системы
Серия I	Цифровая сеть с интеграцией служб
Серия J	Кабельные сети и передача сигналов телевизионных и звуковых программ и других мультимедийных сигналов
Серия K	Защита от помех
Серия L	Конструкция, прокладка и защита кабелей и других элементов линейно-кабельных сооружений
Серия M	Управление электросвязью, включая СУЭ и техническое обслуживание сетей
Серия N	Техническое обслуживание: международные каналы передачи звуковых и телевизионных программ
Серия O	Требования к измерительной аппаратуре
Серия P	Качество телефонной передачи, телефонные установки, сети местных линий
Серия Q	Коммутация и сигнализация
Серия R	Телеграфная передача
Серия S	Оконечное оборудование для телеграфных служб
Серия T	Оконечное оборудование для телематических служб
Серия U	Телеграфная коммутация
Серия V	Передача данных по телефонной сети
Серия X	Сети передачи данных, взаимосвязь открытых систем и безопасность
Серия Y	Глобальная информационная инфраструктура, аспекты межсетевого протокола и сети последующих поколений
Серия Z	Языки и общие аспекты программного обеспечения для систем электросвязи